

HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 96. ÉVF. 1. SZÁM • 2016
HUNGARIAN HYDROLOGICAL BULLETIN • VOL 96. NO 1. • 2016





ÚJ SZABVÁNYOK KIALAKÍTÁSA AZ **ENERGIA- HATÉKONYSÁGHOZ**

Keverőink és áramláskeltőink
komplett választéka az alábbiakat
biztosítja:

- Túlméretezés nélküli tisztítási technológiák, melyek csökkentik az energiafogyasztást.
- Széles teljesítménytartomány kis teljesítménylépcsőkkel az energiahatékony alkalmazásokhoz illeszkedve.
- Meghosszabbított keverő vagy áramláskeltő élettartamok az üzembe helyezést követően.
- Egyszerű szervíz szabványos szerszámokkal és logikus termék felépítéssel.
- Energia megtakarítás és a befektetés gyors megtérülését biztosító működés.
- A Grundfos számításon folyadékdinamikát (CFD) és nagy tapasztalatokkal rendelkező szakembergárdát alkalmaz, hogy megfeleljen az Ön követelményeinek.

be
think
innovate

GRUNDFOS 



Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja
Megjelenik háromhavonként

F szerkeszt :

Fehér János

Szakszerkeszt k:

Ács Éva

Konecsny Károly

Nagy László

Szerkeszt bizottság elnöke:

Szöllősi-Nagy András

Szerkeszt bizottság tagjai:

Ács Éva, Baranyai Gábor, Bezdán Mária, Bíró Péter, Bíró Tibor, Bogárdi János, Csörnyei Géza, Engi Zsuzsanna, Fehér János, Fejér László, Fekete Balázs, Gampel Tamás, Gayer József, Hajnal Géza, Ijjas István, Istvánovics Vera, Józsa János, Kling Zoltán, Konecsny Károly, Kovács Sándor, Major Veronika, Melicz Zoltán, Nagy László, Nováky Béla, Rákosi Judit, Román Pál, Szabó János Adolf, Szilágyi Ferenc, Szilágyi József, Szilágyi Lajos, Szolgay János, Szöllősi-Nagy Péter, Tamás János, Vágás István, Vekerdy Zoltán

Kiadó:

Magyar Hidrológiai Társaság
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.

Tel: +36-(1)-201-7655

Fax: +36-(1)-202-7244

Email: titkarsag@hidrologia.hu

Honlap: www.hidrologia.hu

A Kiadó képviselője: Szilágyi Lajos, a Magyar Hidrológiai Társaság elnöke

Hirdetés:

Gampel Tamás, a Magyar Hidrológiai Társaság főtitkára

1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.

Telefon: (1)-201-7655 Fax: (1)-202-7244

Email: fotitkar@hidrologia.hu

Indexed in:

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr.

Fluidex; Geotechn. Abstr.; Meteor /

Geostrophys. Abstr. Sci.; Water Res.

Abstr.

Index: 25374

HU ISSN 0018-1323

Tartalomjegyzék

Szilágyi Lajos: A Magyar Hidrológiai Társaság 100 éves centenáriuma	3
Szöllősi-Nagy András: Harminc év	5
Fejér László: 125 éve kezdődött a Balaton kutatása	6
Szöllősi Péter és Mikita Viktória: Felszín alatti vízkészleteink és a hidrogeológiai kutatások helyzete hazánkban	7
Kovács Attila, Marton Annamária, Tóth György és Szöllősi Teodóra: A sekély felszín alatti vizek klíma-érzékenységeinek országos léptékű kvantitatív vizsgálata	21
Engi Zsuzsanna, Tóth Gábor, Somogyi Katalin, Lanter Tamás, Hercsel Róbert és Bozzay Ferenc: A Mura folyó kanyarulatvándorlásainak elemzése és hullámterének feliszapolódás-vizsgálata 2D modellezéssel	33
Konecsny Károly, Gauzer Balázs és Varga György: A 2006 tavaszán levonult nagy tiszai árvíz kialakulását befolyásoló hóviszonyok jellemzői	49
Ilyés Csaba, Turai Endre és Szöllősi Péter: 110 éves hosszúságú hidrometeorológiai adatsorok ciklikus paramétereinek vizsgálata	61
KÖSZÖNT	
Dr. Szilágyi Lajos 90 éves	71
Dr. Szilágyi Lajos munkássága	72
ÉLETUTAK	
Prof. Dr. Ijjas István	73
NEKROLÓG	
Dr. Literáthy Péter (1938-2015)	77
KÖNYVISMERTET	
A Tisza és árvizei	78
Szolnok és a Közép-Tisza-vidék vízügyi múltja. IV. (1975-2010)	79

Címlapfotó: Víz Zsigmond, Duna Múzeum.

A volt VITUKI Hidraulikai Laboratóriuma bejáratát korábban díszítő mozaikot sikerült megmenteni, jelenleg az esztergomi Duna Múzeum udvarán tekinthető meg.



Hungarian Hydrological Bulletin

Journal of the Hungarian Hydrological Society
Published three monthly

Editor-in-Chief:

János FEHÉR

Assistant Editors:

Éva ÁCS

Károly KONECSNY

László NAGY

Editorial Board Chairman:

András SZÖLL SI-NAGY

Editorial Board Members:

Éva ÁCS, Gábor BARANYAI, Mária BEZDÁN,
Péter BÍRÓ, Tibor BÍRÓ, János BOGÁRDI, Géza
CSÖRNYEI, Zsuzsanna ENGI, János FEHÉR,
László FEJÉR, Balázs FEKETE, Tamás GAMPEL,
József GAYER, Géza HAJNAL, István IJJAS, Vera
ISTVÁNOVICS, János JÓZSA, Zoltán KLING,
Károly KONECSNY, Sándor KOVÁCS, Veronika
MAJOR, Zoltán MELICZ, László NAGY, Béla
NOVÁKY, Judit RÁKOSI, Pál ROMÁN, János
Adolf SZABÓ, Ferenc SZILÁGYI, József
SZILÁGYI, Lajos SZLÁVIK, János SZOLGAY,
Péter SZ CS, János TAMÁS, István VÁGÁS,
Zoltán VEKERDY

Publisher:

Hungarian Hydrological Society
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary
Tel: +36-(1)-201-7655; Fax: +36-(1)-202-7244;
Email: titkarsag@hidrologia.hu ;
Web: www.hidrologia.hu
Represented by: Lajos SZLÁVIK, President
of the Hungarian Hydrological Society
Email: titkarsag@hidrologia.hu

Advertising:

Tamás GAMPEL, Secretary General of the
Hungarian Hydrological Society
H-1091. Budapest, Üllői út 25., Hungary
Phone: +36-1-201-7655. Fax: +36-(1)-202-7244
Email: fotitkar@hidrologia.hu

Indexed in:

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr.
Fluidex; Geotechn. Abstr.; Meteor /
Geostrophys. Abstr. Sei.; Water Res.
Abstr.

Index: 25374

HU ISSN 0018-1323

Contents

Lajos SZLÁVIK: On the centenary of the Hungarian Hydrological Society	3
András SZÖLL SI-NAGY: 30 years	5
László FEJÉR: The Lake Balaton research started 125 years ago	6
Péter SZ CS and Viktória MIKITA: The situation of groundwater resources and the related research activities in Hungary	7
Attila KOVÁCS, Annamária MARTON, György TÓTH and Teodóra SZ CS: Quantitative investigation of climate change impact on shallow groundwater conditions in Hungary	21
Zsuzsanna ENGI, Gábor TÓTH, Katalin SOMOGYI, Tamás LANTER, Róbert HERCSEL and Ferenc BOZZAY: Analysis of meander migration and 2D modeling of the silting up processes of the Mura river's foreshore area	33
Károly KONECSNY, Balázs GAUZER and György VARGA: Main characteristics of snow conditions affecting the development of the major Tisza River flood in the spring of 2016	49
Csaba ILYÉS, Endre TURAI and Péter SZ CS: Examination of cyclic parameters of 110 year long hydrometeorological datasets	61
BIRTHDAY GREETING	
Dr. Zoltán SZIGYÁRTÓ is 90 years old	71
Oeuvre of Dr. Zoltán SZIGYÁRTÓ	72
COURSES OF LIFE	
Prof. Dr. István IJJAS	73
OBITUARY	
Dr. Péter LITERÁTHY (1938-2015)	77
BOOK REVIEW	
The Tisza River and its floods	78
Historical Books of Water Management – Water management history of the Middle Tisza Region IV. (1975-2010)	79

Cover page photo: Credit - Zsigmond VIZY, Danube Museum (Esztergom).

Köszönt

A Magyar Hidrológiai Társaság 100 éves évfordulójára



Közeledik a Magyar Hidrológiai Társaság megalakulásának 100. évfordulója. Társaságunk a hidrológia és rokontudományai, azaz a vízzel foglalkozó tudományok és szakterületek m velésére alakult társadalmi, tudományos és szakmai egyesület, amely a Magyarhoni Földtani Társulat 1917-ben létrejött Hidrológiai Szakosztályából, és az egykori Magyar Mérnök és Építész Egylet 1866-ban alakult Vízépítési Szakosztályának tagjaiból 1949-ben vált önálló egyesületté. Az MHT születésnapjának a Hidrológiai Szakosztály megalakulásának id pontját, 1917. február 7-ét tekintjük.

Tagjaink sorában nem csak mérnökök, hanem a vízzel foglalkozó számos tudományág, szakterület képviselői (természettudományos tanárok, geográfusok, kémikusok, orvosok, biológusok, ökológusok, történészek, közgazdászok, jogászok) is helyet kértek, kaptak és kapnak, ami az elmúlt évszázadban jól tett egyrészt a mérnöki gondolkodás kiterjesztésének, másrészt viszont fontos szerepet játszott a mérnökök szemléletének alakításában. Valószínűleg az egyik legrégebbi ilyen profilú egyesület vagyunk Európában, s t világszerte is.

A közelgő jubileum alkalmából 2016. májusától 2017. júliusáig centenáriumot tervezünk. Centenárium megemlékezéseink jelmondatául ezt választottuk: „100 éve a magyar vízgazdálkodásért”, hiszen munkánk, tevékenységünk mindenkor szorosan összefonódott, szerves része volt hazánk vízgazdálkodás-fejlesztésének.

A Társaság célja az ország fejlesztésének elősegítése, a tudományos és műszaki haladás előmozdítása, a tudományos ismeretterjesztés és a tájékoztatás, továbbá a vízzel kapcsolatos szakterületeken működő szakemberek ismereteinek bővítése. Feladatunknak tekintjük a vízzel foglalkozó szakterületeken a műszaki, természet- és társadalomtudományos ismeretek terjesztését, fejlesztését; az érintett tudomány- és szakterületek múltjának, eredményeinek, jelenlegi tudományos és gyakorlati irányzatainak, legújabb fejlesztési törekvéseinek hazai megismertetését, hasznosítását; a hazai eredmények nemzetközi megismertetését. Ápoljuk, erősítjük a nemzetközi szakmai kapcsolatokat, a szakterületek hagyományait. Gondot fordítunk az egyes szakterületek elhunyt kiemelkedő szakembereinek emlékének az ápolására, tudományos hagyatékuk megőrzésére, feldolgozására; a szakemberek képzésének, szakmai kultúrájának és igényességének fejlesztésére, támogatására. Ezeket a céljainkat szolgálják nagyrendezvényeink, előadói üléseink, kiadványaink.

A Társaság jelenlegi szervezete működésünk, tevékenységünk 100 éve alatt fokozatosan, szerves fejlődés során alakult ki, az elmúlt öt évben nem vál-

tozott. Az MHT szervezetiileg lefedi egyrészt a vízzel foglalkozó szakterületeket (17 szakmai szakosztállyal), másrészt az ország területét (20 területi és 2 üzemi szervezetével). A Társaság működését 8 állandó szakmai bizottság, 2 szerkesztő bizottság és 3 pályázati bíráló bizottság segíti. Ez a szervezeti struktúra alkalmas a Társaság feladatainak teljesítéséhez, célkitűzéseinek eléréséhez.

Egyéni tagságunk az elmúlt években öröndetesen növekedett. 2006-2016. között egyéni tagjaink száma 26%-kal nőtt, az elmúlt években 3.000 körül ingadozik. Míg a rendes tagok aránya az összes egyéni tag 60%-ában stabilizálódott, addig ifjúsági tagjaink száma megduplázódott, arányuk jelenleg 8-10% körüli. 70 év feletti „szénior” tagjaink jelenleg 520-an vannak; köztük a tagság 18%-át.

Elirányoztuk szervezettségünk további erősítését, de a taglétszám növelését nem tekintjük öncélúnak – tartalmaz, vonzó programokkal, rendezvényekkel, tagjainknak nyújtott szolgáltatások bővítésével szeretnénk elérni a létszám gyarapodását. Ifjúsági korú tagjaink létszámának növelése, a tagságon belül a korosztály arányának további javítása azonban kiemelt célkitűzésünk. Azt szeretnénk, hogy a tagság egyre nagyobb hányada találja meg a szakmai érdeklődésének megfelelő programokat a Társaság keretei között.

Jelenleg 133 jogi tagunk van. Jelentős tartalékaink, lehetőségeink vannak a Társaság szakmai területén tevékenykedő intézmények, vállalkozások köréből jogi tagként szóba jöhetők megnyerésében, így a Társaság szakmai befolyásának, ismertségének növelésében, s ezáltal az MHT anyagi alapjainak erősítésében is.

Az MHT eredményes működésének záloga, hogy a különböző életkorú, szakmai végzettség és irányultságú egyéni tagjai a programok között megtalálják az őket érdeklő rendezvényeket, az információcsere, a tájékozódás lehetőségét. Fontos továbbá, hogy a jogi tagok is szakmai információkhoz juthassanak, képviselőknek tartalmazás társasági rendezvényeken való részvételre nyíljon lehetőségük. A Társaság célja, hogy a jövőben is kiegyensúlyozott, sokrétű, színes szervezeti életet biztosítson tagjai számára, és sajátos eszközeivel erősítse a vízgazdálkodással foglalkozók szakmai összetartozását. Elkötelezett törekvésünk annak elérése, hogy az MHT tagjának lenni érdemes legyen és rangot jelentsen. Ennek érdekében folyamatosan keressük azokat a működési, rendezvényi és kapcsolati formákat, amelyek igazodnak az információforradalom eszközrendszeréhez, a változó világhoz. A Társaságban viselt tagság rangját, vonzerejét elsősorban az általunk is növelhető kapcsolati háló és tudásbázis gyarapítására kívánjuk alapozni.

M kódésünk anyagi alapjait els sorban az egyéni, a jogi tagdíjak, valamint a rendezvény-bevételek kell, hogy biztosítsák. Ezek teszik ki a teljes bevétel mintegy 55-65%-át. A fennmaradó 45-35%-ot támogatásokból, adományokból, a rendezvények bevételeiből, kisebb részben pályázati forrásból fedezzük. Állami támogatásból – egy-egy kisebb, esetleges pályázati összeget leszámítva – nem részesülünk. Éves költségvetésünk évek óta 42-55 millió Ft közötti. Az MHT gazdálkodása folyamatosan stabil, kiegyensúlyozott.

A Hidrológiai Szakosztály 1921-ben határozta el, hogy önálló folyóiratot indít, a *Hidrológiai Közlönyt*. Az első évfolyamok kötetei össze is álltak, bár csak 1928-ban jelenhettek meg. A kiadás késése ellenére a folyóirat születését 1921-re datáljuk. Azóta – időről időre újabb késedelmekkel, sőt, egyes kötetek átmeneti hiányával, de későbbi pótlásával – a folyóirat mind a mai napig megjelent és folyamatos sorozatot alkot. A *Hidrológiai Közlöny* egyike Európa legrégebbi vizes szakmai lapjainak – ez évben lépett 96. évfolyamába.

A *Hidrológiai Közlöny* eddigi szakmai tartalma, a belé fektetett munka, a hatalmas anyag, amelyet leközölt, elismerésre méltó. Ugyanakkor a folyóiratot tartalmilag és formailag is meg kell újítani, a nemzetközi kíváncsalmaknak jobban megfelelni, lektorált, külföldön is idézett kiadvánnyá fejleszteni. El kell érni, hogy a lap ne pénzügyi kockázata legyen a Társaságnak, hanem vonzó lehetősége: egyik igen fontos kommunikációs csatornája, egyfelől belföldön, a háromszékes tagság és az érdeklődők számára, másrészt a külföldön élő, dolgozó magyar szakembereknek is. Az új Szerkesztő bizottság, Szerkesztősegéd munkájának első eredménye a lapnak ez a megújult száma, amelyet az Olvasó a kezében tart.

2014-től a honlapunkon minden érdeklődő számára

szabadon hozzáférhetővé tettük a Társaság lapjainak és kiadványainak digitalizált anyagát, így a *Hidrológiai Közlöny* eddig megjelent valamennyi számát, sok tízezer oldalát, kereshető haszonmás formájában. A kereső rendszerrel a teljes szövegállományban lehet keresni, így ez a hatalmas ismeretanyag folyamatosan aktívan hasznosítható a kutatói és a mérnöki gyakorlatban.

Szervezeti egységeink, központi bizottságaink, választott testületeink kiemelt feladata, hogy tevékenységük során rendszeresen töltsék napirendre a vízgazdálkodásban végbemenő változások hatásának, következményeinek elemzését, értékelését, és járjanak élen abban, hogy a vízügyi ágazat jelentősebb működési zavarok nélkül teljesíthesse feladatait a megváltozott feltételek és körülmények között is. Továbbra is nagy figyelmet fordítunk a vízgazdálkodás működését szolgáló szakmai stratégiai elképzelések, dokumentumok kidolgozásában, véleményezésében való közreműködésre.

A Magyar Hidrológiai Társaság *jövő képe*, hogy a gyorsan változó környezethez való rugalmas igazodásával, a hagyomány tiszteltben tartásával és a fejlődés igényével, egységesen képviselje a hazai vízgazdálkodás területén tevékenykedő szakemberek közösségét.

A Társaság működésének központjába a hagyományok megőrzését és a változó környezethez való rugalmas igazodást állítjuk. A Magyar Hidrológiai Társaság működésének második évszázadába lépve tevékenységünk kulcsszavai ezért továbbra is: *hagyomány és fejlődés. Ezt hivatott szolgálni a megújuló Hidrológiai Közlöny is.*

Dr. Szilávik Lajos
az MHT elnöke

Harminc év...

Igen, pont harminc éve történt, amikor utoljára megújítottuk a Hidrológiai Közönyt. Belsejében és külsejében egyaránt. Akkor már fújtak a változások szelei, s nagy kockázat nélkül lehetett újítani. Azt ígértük, hogy meg rizve változtatunk – meg rizzük az akkor hetven éves lap nemes hagyományait, ám sok mindenben változtatunk a kor igényeihez igazodva. Iparkodtunk a nemzetközi szakmai újságírás normáihoz igazodni, kezdve az idézés módjától a titkos lektorálásig. Ez utóbbiból lett is aztán nagy kalamajka, amikor – építve a szaklektorok szinte, ám kend zetlen véleményére – lendületesen visszautasítottuk egy akkori miniszteriális politikai vizesnyolcas gyengécske szösszenetét.



Harminc éve történt, hogy ifjú – ha nem is titánként, de legalábbis - törökként megbízott a Magyar Hidrológiai Társaság vezetése, hogy lássam el a lap f szerkeszt i teend it. Vágás István és Békési János szerkeszt társaim csodálatos segítségével és biztatása nélkül ez azonban kudarcra lett volna ítélve. De végül is sikerült az áttörés. A lap megújult külsínében és belbecsében egyaránt, mindahányunk örömeire. Öt évig volt szenvedélyem és örömöm a lap szerkesztése.

Izgalmas id k jártak akkoriban a szakmánkra. Bár szolgáltatnak éreztük, amit teszünk, mégis szándékunkon kívül lett szakmánk a politikai változások b nbakja. Cséptelték is rendszeren. Kapott is kosarat szájára. A Hidrológiai Közöny volt akkoriban az egyetlen lap, ahol a magyar sajtószabadság jelent s szégyenére, a szakmát pocskondiázók népes seregével ellentétes vélemények egyáltalán megjelenhettek. Refuznyiki cím rovatunk a hivatalos magyar sajtó által visszautasított szakmai cikkek és vélemények mentsvára lett, az idézett sajtószabadság nagy dics ségére.

Mára azonban ez már történelem.

Tovább kell lépnünk. Annál is inkább, mert az elmúlt harminc évben forradalmi változások zajlottak le a nyomtatott sajtó területén is. Az elektronikus szerkesztés és terjesztés valóban forradalmian új távlatokat nyitott, amelyhez nem alkalmazkodnunk több lenne, mint b n. Ezért határozta el az MHT tavalyi Közgy lése által mandátumot kapott új vezetés, hogy ismét eljött az ideje a váltásnak és változásnak.

Miel tt ennek f bb vonalait vázlatosan áttekinténém, fejet kell hajtanom a lap korszakos alakja: Vágás István el tt mindazért, amit az elmúlt több, mint fél évszázadban a lapért tett a rovatvezetést l a f szerkesztésig. Ez utóbbi posztot huszonhat évig látta el töretlen lelkesedéssel, hittel és munkabírással. Köszönjük Pista!

Nos, mi az, amiben nem tervezünk változást?

Els sorban abban, hogy lap els dleges célja a vízzel kapcsolatos magas szint szakmai ismeretek magyar nyelven történ közzététele, egyrészt a vízzel kapcsolatos tudás b vítése, másrészt szakmai továbbképzés és oktatás céljából.

A Társaság jellegéb l következ en a HK nem tisztán tudományos lap, jóllehet zömében a víztudományok (hidrológia, hidrometeorológia, hidraulika, hidromorfológia, hidrobiológia, vízkémia) területér l közöl tudományos igény közleményeket, de éppúgy átfogja a technológiai fejlesztés (vízépítés, vízellátás, szennyvíztisztítás), valamint vízügyi igazgatás és gyakorlat, továbbá az általánosabb vízgazdálkodás kérdéseit is. Míg f leg a vízzel kapcsolatos releváns mérnöki és természettudományok területér l közlünk cikkeket, azonközben a lap alapvet feladata kell legyen a helyes magyar m szaki nyelv ápolása is. Ezt a bevált irányzatot a lapnak folytatnia kell.

Nyitnunk kell azonban a tágabb kontextus felé, különösen a társadalomtudományok (hidroökönómia, hidroszociológia, vízjog, vízdiplomácia) és a vízzel kapcsolatos interdiszciplinaritás irányába.

Változtatunk kell a lap hatásán (impaktján), s hogy hány olvasót szolgálunk. Ez utóbbit illet en jelent s javulást várunk attól, hogy a Magyar Hidrológiai Társaság közel háromezres tagsága mostantól folyamatosan illetménylapként jut a Közönyhöz elektronikus formában. (Egy bizonyos id elteltével pedig a lap mindenki számára szabadon hozzáférhet lesz az egyre b vül , a korábbi összes számot tartalmazó adatbázisban.) Természetesen folytatjuk a nyomtatott formában való megjelenést, immár színes ábrákkal és m mellékletekkel – meg hát persze hirdetésekkel is. Marketingpolitikánk célja nemcsak a lap el állítási költségeihez való hozzájárulás, hanem új információs felület nyitása a gyártó, tervez és kivitelez cégek számára is.

Megújult a Szerkeszt bizottság is, listája a kolo fonban látható. Törekedtünk arra, hogy a tagok a szakmák, a tudomány és a gyakorlat, a nemek és a térségek közötti megfelel egyensúlyt képviseljenek. Örömkre a külhoni magyarság vezet vizes szakemberei is részt vesznek munkánkban, s faragjuk tovább együtt az ”ötágú sípot”.

Végül jelent s változás az, hogy új f szerkeszt nk van: Fehér János, aki vállalta, hogy átlavírozza a lapot a változás Szküllái és Kharübdiszai között. Kérem minden szerz nket és olvasónkat, hogy segítse János munkáját cikkel, hírrel, hozzászólással, vitával és mindennel, ami a szakma és a haza javára válik.

Lectori salutem!

Szőll si-Nagy András
A Szerkeszt bizottság elnöke

125 éve kezdődött a Balaton kutatása

A Magyar Földrajzi Társaság választmánya **125 évvel ezelőtt**, 1891. március 7-én Lóczy Lajos elnöklete alatt elhatározta, hogy *"a Magyar birodalom egyes vidékeinek földrajzi tanulmányozását a Balaton kutatásával kezdi meg"*. A kutatásoknak nagy lendületet adott az az aggodalom, hogy a tavat az elhínárosodás fenyegeti. Lóczy azonban egy másik konkrét okot is említett, miszerint: „A jövő évben nemzetközi földrajzi kongresszus lesz Budapesten. Lehet séget kell adni arra, hogy hazánkat a külfölddel megismertessük. Szükséges tehát Balatonnak tanulmányozása nemcsak önmagára, de a kongresszusra való tekintettel is.” Az elnöki javaslatot elfogadták, s a szakbizottságba a következőket választották: Entz Géza, Borbás Vince, György Aladár, Konkoly Miklós, Kvassay Jenő, Lóczy Lajos, Márki Sándor.

A vízügyi szolgálat akkori vezetője, Kvassaynak a beválasztása a bizottságba nem volt véletlen, hiszen az támogatásával létesítették Keszthelyen és Siófokon a limnográfokat (a siófoki miatt a gyakori eliszapolódás miatt utóbb áthelyezték Kenesére), amelyekkel a Balaton hosszanti irányú „vízlengéseit” mérték az Földmívelési Minisztérium vízrajzi osztályának munkatársai. A tó és környezetének természeti és társadalmi viszonyait feltáró több mint két évtizedes kutatómunka a magyar földrajztudomány nemzetközi mértékben is páratlan vállalkozása volt. A kutatásokat bemutató első kötet Entz Géza tollából 1897-ben jelent meg *A Balaton faunája* címmel. Valamennyi kötet címlapját az alábbi rajz díszítette. A MFT Balaton Bizottsága megalakulásának körülményeit Margittay Rikárd, a Cholnoky Jenő által szerkesztett Balatoni Szemle 1942. áprilisi számában írta meg.



Összeállította: Fejér László, a Hidrológiai Közlöny rovatvezetője.

Felszín alatti vízkészleteink és a hidrogeológiai kutatások helyzete hazánkban

Szűcs Péter - Mikita Viktória

Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézet, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, MTA-ME Miskolci Földtudományi Kutatócsoport, 3515. Miskolc-Egyetemváros, Magyarország (E-mail: hgszucs@uni-miskolc.hu)

Kivonat

A felszín alatti vízkészletek igen jelentős szerepet játszanak Magyarországon. A cikk bemutatja a legfontosabb hazai hidrogeológiai vonatkozásokat, valamint a szakemberek előtt álló legfontosabb jövőbeli feladatokat és lehetőségeket. Világossá vált, hogy a hazai felszín alatti vizekkel kapcsolatos kihívások és problémák hatékony megoldására nemzetközi szintű kutatási eredményekre van szükség. A ma is kiemelkedő színvonalú és nemzetközileg is látható hazai hidrogeológiai kutatások döntő része felsőoktatási intézményekben, valamint akadémiai kutatóintézetekben folyik különösebb koordináció nélkül. Természetesen kialakultak jó példát mutató együttműködések a kutatóhelyek között, de a nagynevelődők munkáját folytató hazai kutatói kapacitás még hatékonyabban kihasználható lenne megfelelő szintű hálózati együttműködés és feladatorientált finanszírozás révén.

Kulcsszavak

hidrogeológia, felszín alatti vízkészletek, ivóvíz, ásványvíz, gyógyvíz, hévíz, kutatás

The situation of groundwater resources and the related research activities in Hungary

Abstract

Groundwater resources play significant role in Hungary. The paper gives information about the important facts of the Hungarian hydrogeological conditions. The most important tasks and opportunities related to groundwater are also detailed. It is clear now for the experts that new, internationally acknowledged research results are required to find effective solutions for the groundwater management practice. The largest part of the current research activity is carried out at national universities and academic institutions without any coordination. Coordinated research network activity could strengthen the groundwater related solutions for the water sector in Hungary in the near future.

Key words

hydrogeology, groundwater resources, drinking water, mineral water, medicinal water, thermal water, research activity

BEVEZETÉS

Magyarország vezetékes vízellátásában igen nagy szerepe van a felszín alatti vízkészleteknek. Az ivóvízellátás több mint 95%-a felszín alatti vizeinkből származik. Híresek vagyunk ásványvíz-, gyógyvíz- és hévízkészleteinkről, geotermikus adottságainkról. Sok kiváló szakmai munka mellett a legátfogóbbnak tekinthet két hazai kiadású szakkönyvből (Juhász, 2002; Marton, 2009) megismerhetjük a 2010 előtti időszak legfontosabb magyarországi vonatkozású kutatási eredményeit a viszonylag jó adottságokkal rendelkező, de számos specialitást mutató felszín alatti vizeinkkel kapcsolatban. A hidrogeológusok szakmai felelőssége jelenleg is nagy a tekintetben, hogy felszín alatti vizeinket mennyiségi és minőségi szempontokat is figyelembe véve fenntartható módon hasznosítsuk, illetve hosszú távon megőrizzük. Az utóbbi időben azonban számos új globális és lokális természeti és társadalmi problémával is szembesülnünk kellett, amelyek káros hatásai sajnos jelentős károkat okoztak a környezeti elemekre, így a felszín alatti vizekre is. A jelen és a jövő hazai hidrogeológusainak új típusú szakmai kihívásokra kell hatékony választ adniuk intenzív kutatásokra alapozott innovatív megoldások segítségével. A válasz megtalálásában részben segítségünkre lehetnek azok a magas színvonalú szakmai anyagok is, amelyek a Köztisztviselési Stratégiai Programok Keretében születtek. 2008-ban fogadták el az MTA Köztisztviselésének

stratégiai programjait nyolc, az ország jövőjét meghatározó témakörben. A hidrogeológusoknak igen jelentős szerep juthat három meghatározó területen is, amelyekben már elkészültek a stratégiai programok: Magyarország vízgazdálkodása (Somlyódy, 2011), Környezet- és klímabiztonság (Bozó, 2010), valamint a Megújuló energiák hasznosítása (Büki – Lovas, 2010). Világossá vált azonban, hogy a hazai felszín alatti vizekkel kapcsolatos kihívások és problémák hatékony megoldására nemzetközi szintű új kutatási eredményekre van szükség. A ma is kiemelkedő színvonalú és nemzetközileg is látható hazai hidrogeológiai kutatások döntő része felsőoktatási intézményekben, valamint akadémiai kutatóintézetekben folyik különösebb koordináció nélkül. Természetesen kialakultak jó példát mutató együttműködések a kutatóhelyek között, de a nagynevelődők munkáját folytató hazai kutatói kapacitás még hatékonyabban kihasználható lenne megfelelő szintű hálózati együttműködés és feladatorientált finanszírozás révén.

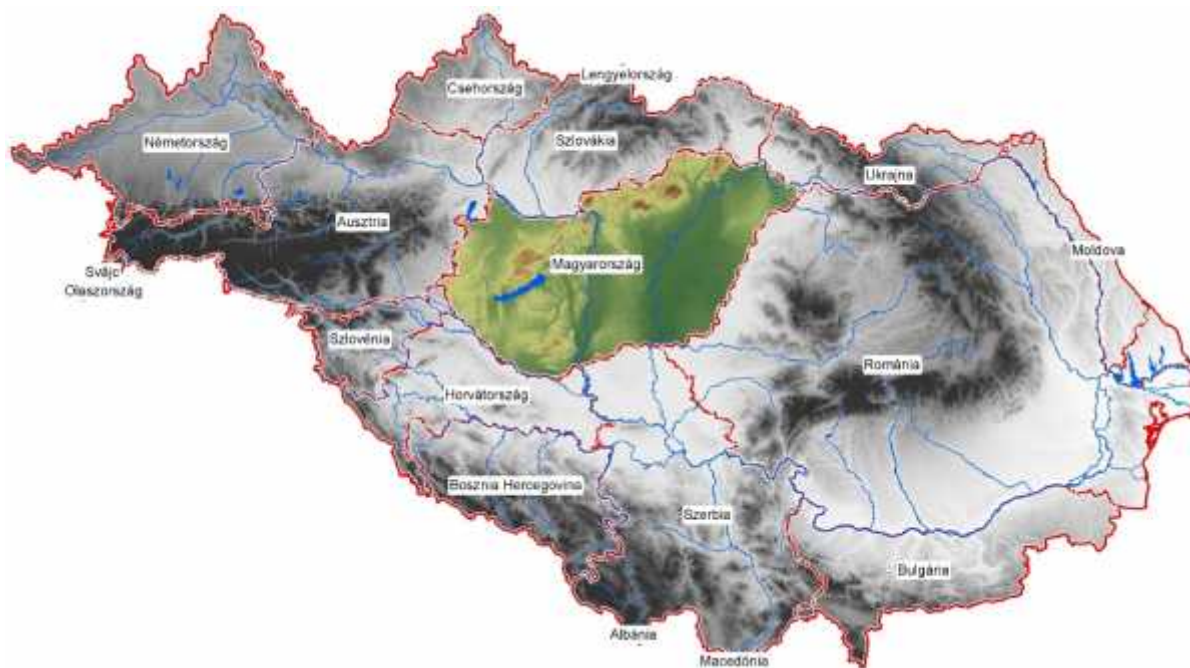
HIDROGEOLÓGIAI VISZONYOK A KÁRPÁT-MEDENCE BELSEJÉBEN

Magyarország a Duna vízgyűjtő területén belül a Kárpát-medencében, a föld egyik legzártabb medencéjében helyezkedik el (1. ábra). Ennek a természetföldrajzi vonatkozásnak igen fontos hatásai vannak a

felszíni és felszín alatti vízkészleteinkre. Viszonylag kis terület hazánk hét országgal szomszédos, amely tény speciális viszonyokat alakít a felszín alatti vizek esetében is. Európán belül Magyarországnak van fajlagosan a legtöbb határral osztott felszín alatti vízbázisa. Az ország vízgyűjtő-gazdálkodási tervében (URL1) megadott 185 felszín alatti víztestből jelenleg negyven a hivatalosan is elismert határral osztott víztest. A tényleges helyzet ennél is nagyobb kiszolgáltatottságot jelent. Felszín alatti víztesteink fele határral osztottnak tekinthető, azaz országon kívüli hatások is jelentősen befolyásolhatják felszín alatti vizeink mennyiségét és minőségét. E tény sokkal kevésbé közismert vagy látható, mint az, hogy a felszíni vizeink mintegy 96%-a nyugati, északi és keleti határainkon keresztül érkezik hazánk földjére. A határszéleken Magyarország a felszín alatti vízkészleteket illetően is döntően alvízi helyzetben van, sajátos, részben kiszolgáltatott helyzetet teremtve. A hazai kutatások eredményeképpen fontos eredmények születtek a határral osztott felszín alatti vízáradók vízkészleteinek hasznosítása területén (Szűcs *et al.*, 2013), amely tapasztalatokat

számos UNESCO kurzus keretében sikerült megosztani a nagyvilágban. A határral osztott vízgyűjtőknél a környezet- és klímaváltozás hatásai még intenzívebben jelentkezhetnek. E változásokra hidrogeológusainknak fel kell készülniük. Szomszédaink közül Ausztria (1995), Szlovákia, Szlovénia (2004), Románia (2007) és Horvátország (2013) az Európai Unió tagja. Velük a szakmai együttműködés a jogharmonizáció és az európai közös értékek mentén általában már egyszerűbb, mint a Duna-programokhoz csatlakozott, de nem EU-tag Szerbia és Ukrajna esetében.

Hazánk vízföldtani adottságai egyrészt igen jók, ugyanakkor a hidrogeológus szakembereknek speciális, az alábbiakban részletezett földtani, hidrogeológiai, meteorológiai és geotermikus viszonyokra kell számítaniuk a Pannon-medencében. Hazánk viszonylag nagy területein ugyanabban a naptári évben előfordulhat a felszín alatti vizekre is hatással levő árvíz, belvíz és akár aszály. A vízkészletekkel foglalkozó szakembereknek a vizek hasznosítása mellett a vizek kártétele elleni védelemre is fel kell készülniük Magyarországon.



1. ábra. Magyarország elhelyezkedése a Duna vízgyűjtő területén belül a Kárpát-medencében (forrás: VKKI)
Figure 1. The location of Hungary in the Danube watershed and within the Carpathian basin (source: VKKI)

Hazánk változatos földtani és hidrogeológiai képet mutat, ahol szinte minden, szakmai szempontból izgalmas jelenség megtalálható egymás közelében. A vízellátás szempontjából komoly jelentőséggel bíró karszthegységeink hidrogeológiai viszonyai (Erőss *et al.*, 2012) mellett tanulmányozhatóak a hasadékos vulkánok, magmás és metamorf kőzetek igen érdekes vízraktározási viszonyai is (Székely *et al.*, 2015). A nemzetközi érdeklődés figyelmébe került Alföld és a Kisalföld számos megoldásra váró problémát kínál a

hidrogeológusok számára. A szakmai érdekességek sokaságának természeti okai között szerepel az, hogy a Föld kérge viszonylag vékonyabb a Kárpát-medence alatt, másrészt az egész Kárpát-medence jelenleg is megfigyelhető tektonikai kompresszió révén térrövidülés alatt áll, amely tovább fokozza a mélyebben elhelyezkedő vízáradók és egyéb fluidumtároló összletek pörusnyomását.

Az Alföld egészét tekintve a rekonstruált felszín alatti vízáramtér értelmezése alapján két folyadékhajtó

energiafajta jelenlétével kell számolnunk. Felül egy gravitációs folyadékrendszer, míg alatta a tektonikai kompresszió által is generált túlnyomásos, vagy egyes emelkedő területeken alulnyomásos folyadékáramtér található (Mádl-Sz. nyi et al., 2015). Az üledékképződésből, fluidumh. mérséklet-emelkedésből és tektonikai kompresszióból eredő túlnyomások forrás helyei uralkodóan a pre-neogén aljzat kimagasló rögei. Ebben a mély, fojtott hidraulikus áramlási rendszerben a folyadékok függőleges mozgáskomponense egyértelműen felfelé irányul. Az említett két nagy áramlási rendszer határfelülete igen komplex (Czauner and Mádl-Sz. nyi, 2013): mélysége az Alföld különböző területein még meghatározásra vár. A csatlakozási zóna alakja és dinamikai jellege nagyon változó, és függ a hidrogeológiai környezettől, azaz a helyi domborzati, meteorológiai és geológiai viszonyoktól. Az Alföld kizetvázát egy komplex szerkezetű pre-neogén aljzatú medence 7000 m vastagságot is elérő, fluidummal kitöltött neogén törmelékes üledékösszlet alkotja. Magyarországon a felszín alatti kizetek pórusaiban és repedéseiben egy időben kb. 5000 km³ víz helyezkedik el. Ez a mennyiség tekinthető az ún. statikus felszín alatti készletnek. A fenntartható vízhasznosítás szempontjából sokkal nagyobb jelentőség a dinamikus készletek meghatározása. Országos szinten a felszín alatti, fenntartható módon kitermelhető vízkészlet kb. 1,5-2 km³/év körül alakulhat, amely értéket további kutatások pontosíthatnak. Az üledékes összletek mellett a felszín alatti vizek kitermelése szempontjából hazánkban jelentős szerepet játszanak a repedezett (karsztos és vulkáni) vízádók is.

FELSZÍN ALATTI VIZEK A VÍZELLÁTÁSBAN

A világ vízellátásában a felszín alatti víz átvette a vezető szerepet a felszíni vízkészletektől (Sz. cs et al., 2009). Európában ma már a vízellátás 75%-a, míg Magyarországon több mint 95%-a származik a felszín alatti vizekből. Bár az ivóvízellátó közmunkák napi kapacitása Magyarországon 4,5 millió m³, az éves termelt ivóvíz mennyisége csak kb. 700 millió m³. Az ivóvíz mellett az ásvány- és gyógyvizeinket, valamint a hévizeket is magában foglaló felszín alatti vízkészleteink még inkább felértékelődnek a közeljövőben, hiszen egyre szaporodnak a Föld lakosainak már jelenleg is mintegy felét érintő vízellátási problémák. Sajnos a változó természeti feltételek és adottságok mellett felszín alatti vízkészleteinket is veszélyeztetik azok az emberi hatások, amelyek egyrészt a környezeti elemek szennyezésében vagy például az éghajlatváltozásban fejtik ki hatásukat. Érdekes hidroológiai különbség, hogy a szomszédos Romániában a vezetékes vízellátás ma is döntően felszíni vízkészletekre támaszkodik.

Magyarországon a felszín alatti vizek esetében a gyakorlati osztályozás (Juhász, 2002) alapján többfajta víztípust is elkülönítünk. A parti sz. rész – a folyók kavicsteraszához közvetlenül is kapcsolható

– vízkészleteket is ide soroljuk a hazai nevezéktan szerint. E vízkészletek – amelyek a vízellátás közel 40%-át teszik ki – bizonyítékai a felszín alatti és felszíni vizek közötti kölcsönhatásnak. A termelés fontos feltétele a mederfenéken a termelés hatására kialakuló, mikrobiológiailag aktív sz. r. réteg. E vízkészlet meg. része stratégiai fontosságú, Budapest szinte teljes egészében parti sz. rész vizet használ majd kétmillió lakosa ellátására. E vízkészletet leginkább a folyó felől érkező szennyezők veszélyeztethetik. A parti sz. rész vízkészletek mellett els. sorban síkvidéki területeinken a rétegvizek jelentik még ivóvizeink legjelent. sebb forrását. A Dunántúli-középhegység és a Bükk környezetében a sérülékeny karsztvíz is számottevő a víztermelésben. Sajnos a felszínhez legközelebb eső talajvizeink többsége ma már olyan rossz minőségű, hogy nem alkalmas ivóvízellátásra. Az ország kisebb területén, pl. a Tokaji-hegységben a vulkáni kizetek hasadékaiban és repedéseiben tárolt víz is szerepet játszik lokális léptékben a vízellátásban. Fontos megérteni azt, hogy a felszín alatti vizek gyakorlati osztályozása egy mesterséges elkülönítést jelent, ahol az egyes felszín alatti vízkészlet fajták elkülönítése és egymással való kapcsolata mind lokális, mind regionális szinten a hidrogeológusok szakértelmét kívánja.

A biztonságos hazai vízellátás fenntartása érdekében tovább kell folytatni az országos vízbázisvédelmi programot az üzemelő és a távlati vízbázisok tekintetében. A mintegy 1700 hazai vízbázis több mint fele sérülékenynek tekinthető, így csak ezek megfelelő diagnosztikája, biztonságba helyezése és tartása garantálhatja létfontosságú nemzeti érdekünket az ivóvízellátás területén. Az ivóvízminőség-javító program keretében törekedni kell olyan lehetséges hidrogeológiai és vízgazdálkodási megoldásokra, amelyek nem csak az igen költséges víztisztítási technológiák alkalmazására támaszkodnak. Szakmai szempontból elkerülhetlenné vált a víziközmű-szolgáltatás teljes reformja, amelyben a hidrogeológusoknak is jelentős szerepet kell kapniuk. Közös érdekünk, hogy a víziközmű-szolgáltatással kapcsolatos szakmai elvárások jelentős mértékben emelkedjenek a jövőben. Ez szolgálhatja a vízszolgáltatás minőségének és megbízhatóságának további jövőbeli javulását, illetve a vízi közm. előregedett infrastruktúrájának megújulását. Ma az igen jelentős, sokszor 20–30%-ot is meghaladó hálózati veszteségek jelentős mértékben – károsan – befolyásolják egy-egy adott helyen a természetes felszín alatti vízkészleteink mennyiségi és min. ségi állapotát. Távlati vízbázisokat tekintve ugyanakkor jó helyzetben van az ország. A napi kb. 2–2,5 millió köbméteres felszín alatti víztermelés mellett kb. 1 millió m³/nap összesített kapacitású távlati vízbázissal rendelkezünk, amelynek nagyobb része a Duna és a Tisza mentén parti sz. rész rendszerként van kijelölve és védve.

ÁSVÁNY- ÉS GYÓGYVÍZ-, VALAMINT HÉVÍZKÉSZLETEINK HASZNOSÍTÁSA

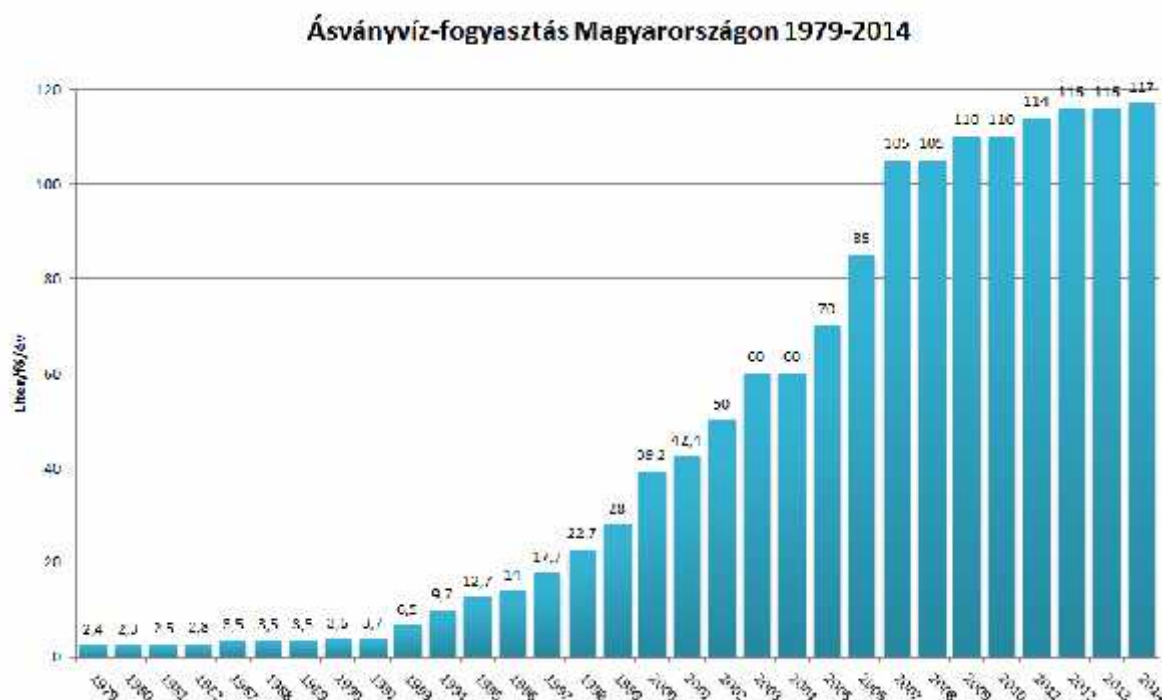
Magyarország ásvány-, gyógy- és termálvízincse világviszonylatban is kiemelked, a nemzetgazdaság számára is jól hasznosítható, számos település és térség számára további felemelkedést és munkahelyteremtést jelenthet természeti érték. Az is világossá vált viszont, hogy az ásvány-, gyógy- és hévizek mennyiségi és min ségi védelme, valamint fenntartható hasznosítása területén új tudományos eredményekre, innovatív szakmai megoldásokra, interdiszciplináris együttm ködésre, széles kör szakmai konzultációkra és új vízgazdálkodási stratégia kidolgozására van szükség (*Buday et al.*, 2015). A Kárpát-medence összetett vízrendszerébe tartozó értékes, felszín alatti vízkészleteink hasznosítása és védelme komplex, a határokon túlnyúló szemléletet, kutatást és vízgazdálkodási gyakorlatot is igényel. A környezetvédelmi szempontokat is figyelembe vev ásvány- és gyógyvízellátás min ségi b vítését, a gyógyászati, rekreációs és wellness-igények kielégítését, valamint a geotermikus energia fokozott hasznosítását a nemzetközi szervezetekkel és tudományos trendekkel összehangoltan kell tervezni.

Az uniós csatlakozás után sokat változott az ásványvíz min sítés rendszere. A jelenlegi hazai és az európai uniós szabályozás szerint a természetes ásványvíz védett vízáadó rétegb l származik, eredend en tiszta, szennyez ésmentes, összetétele ismert és a természetes ingadozás keretein belül állandó, a szigorú mikrobiológiai követelményeknek megfelel. Az ásványvizet a víznyer helyen palackozzák, kezelésben nem részesül, és a szén-dioxidon kívül nem tartalmaz idegen anyagot. Az ásványvizek hivatalos elismerésben részesülnek. A gyógyvíz olyan ásványvíz, amely oldott ásványianyag- vagy gáztartalma következtében gyógyhatású, meghatározott betegségekre vonatkozó gyógyhatását szigorú el írásokhoz kötött orvosi vizsgálatokkal kimutatták. Az Országos Gyógyhelyi és Gyógyfürd ügyi F igazgatóság nyilvántartása szerint Magyarországon 258 elismert ásványvíz és 220 elismert gyógyvíz található. Az Új Széchenyi Terv Gyógyító Magyarország – Egészségipari Programja is magában foglalta hazánk kivételesen gazdag termál-, ásvány- és gyógyvízkészletének, geotermikus adottságainak hatékony, sokrét kiaknázását és hasznosítását.

Az utóbbi húsz évben az ásványvízfogyasztás jelent sen n tt nemcsak Magyarországon, de a világon mindenütt. Az ásványvízfogyasztás ma már szervesen hozzátartozik az egészséges életmódról kialakított képze-tünkhöz. 2013-ban és 2014-ben hazánkban az egy f re jutó ásványvízfogyasztás 117 liter/f /év körül alakult (2. ábra). A kiváló természeti adottságokat jól jellemzi, hogy szinte minden ásványvíztípus megtalálható Magyarországon (*Borszéki*, 1998). Igényeink és egészségi állapotunk szerint választhatunk a kénes, a radontartalmú, a savanyú, az alkalikus, a földes-meszes, a konyhasós, a keser sós, a vasas és a jódos, valamint a brómos ásványvizek közül. Jelenleg több mint ötven különböz hazai palackozott ásványvíz kerül kereskedelmi forgalomba. Az ásványvíz nemcsak az emberi

szervezetre gyakorolt kedvez hatása miatt fontos, hanem a szépségiparnak is kit n alapanyaga (például természetes ásványvíz alapú kozmetikumok). Az is említést érdemel, hogy hazánkban a vezetékes ivóvizek nagyon sok helyen ásványvíz min ség ek. Igaz, közegészségügyi szempontok miatt klórozottak, illetve egyes vidékeken enyhén melléklíz ek. Ezért fordulhat el az is, hogy az olcsó és a mindig rendelkezésre álló kiváló min ség csapvizek helyett sokszor a szubjektív igényeinknek jobban megfelel , de a fajlagosan sokkal drágább ásványvizeket részesítjük el nyben.

Az ásvány- és gyógyvizek igazi értékét els sorban a vízben oldott kémiai elemek, ásványi anyagok és gázok min sége és mennyisége határozza meg. E tekintetben a hazai és az egész Kárpát-medencében el forduló ásványvizek sokkal gazdagabbak és értékesebbek az Európai Unió egyéb területein feltárt és jóval hígabb összetétel ásványvizeknél. A Kárpát-medencében a Hargita vidéke tekinthet az egyik legjobb ásványvízlel helynek, ahol alig több mint 6000 km²-es területen fantasztikus változatosságban fordulnak el a „borvizek”. A komplex vízföldtani és tektonikai viszonyok mellett a székellyöldi terület aktív utóvulkáni folyamatok szintén hozzájárulnak az itt található felszín alatti vizek igen értékes ásványianyag-tartalmához. Az 1806-tól palackozott Borszéki ásványvíz nem véletlenül nyerte el az Ásványvizek királyn je címet 1873-ban. A hazai gyógyturizmus számára nagy jelent ség , hogy kormányzati támogatással jelent s fejlesztések történtek az elmúlt évtizedben. Több mint száz termálfürd -fejlesztési projekt kapott támogatást. Az Országos Gyógyhelyi és Gyógyfürd ügyi F igazgatóság nyilvántartása szerint Magyarországon mintegy ezerkétszáz hévízkút, hetven gyógyfürd , öt gyógybarlang, öt helyszíni kitermelés iszaptelep, egy mofetta és tizenhárom gyógyhely található. Nemzetközi összefüggésben hazánk a termálvízben leggazdagabb els öt ország közé tartozik. A fejlesztések eredményeként ma már kb. negyven nagy, nemzetközileg is elismert gyógy- és termálvízre épül központ van Magyarországon. Gyógyvízkészleteink a gyógyhatások sokféleségét tekintve világszinten is egyedülálló értéket képviselnek. A balneológia (gyógyfürd tan) tudománya a gyógyforrások és gyógyvizek gyógyfürd i alkalmazásával foglalkozik. A fürd kúrák során egyrészt víz fizikai tényezői (h mérséklete, nyomása, felhajtóereje) hatnak az emberi szervezetre. Ezeket a hatásokat használja fel a hidroterápia. A hidroterápiás hatásokat kiegészítik a gyógyvízben oldott állapotban található ásványi anyagok és elemek hatásai. A hazai gyógyvizek orvosi hatásainak vizsgálata és mindennapi orvosi gyakorlatba való bevezetése a célja azoknak a hazai kutatóknak is, akik a közelmúltban megalapították a Nemzetközi Balneológiai Kutató Központot. Fontos lenne, hogy az egyetemi oktatáson belül legyen önálló balneológusképzés is. A Miskolci Egyetemen 2016-ban indulhat az újonnan bevezetett Balneoterápia szakirányú továbbképzési szak az Egészségügyi Kar és a Miskolci Földtudományi Kar közös szervezésében.



2. ábra. Az egy főre jutó évi ásványvízfogyasztás alakulása Magyarországon (forrás: Magyar Ásványvíz Szövetség és Terméktanács)

Figure 2. The annual mineral water consumption per capita in Hungary (source: Mineral Water Association and Product Council)

A jövőben a hidrogeológiának jelentős szerepet kell játszania a geotermikus energia felhasználásának növelésében is. A 30 °C-nál melegebb hévizeknek jelentős szerepük van a hő, illetve az energia felszínre hozatalában és hasznosításában. Bonyolítja a helyzetet, hogy a termálvizek a Kárpát-medencében sok helyen hidraulikailag összefüggenek az ivóvíztermelésre használt rétegekkel. Speciális vízgazdálkodási stratégia kialakítására van szükség annak érdekében, hogy fenntartható módon elégíthessük ki egy adott területen a felszín alatti vízre alapozó ivóvíz-, gyógyászati célú és az energetikai célú igényeket. Hazánk, valamint a Kárpát-medence kimagaslóan jó geotermikus potenciálját, hidrogeotermikus rendszereit, hévízfelhasználási lehetőségeit az utóbbi időben több kiváló tanulmány is bemutatta (Mádlné Sz. nyi, 2006; Szanyi and Kovács, 2010; Székely, 2010). Magyarországon területén a felszín alatt a föld belseje felől az átlagos földi hőáram értéke kb. 90 mW/m², míg a geotermikus gradiens 30–50 °C/km értéktartományban változik. Ezen adatok birtokában meghatározható az ország elméletileg rendelkezésre álló teljes dinamikus hőkészlete, amely több mint 8000 MW. Ehhez képest a geotermikus energia tényleges hasznosításának mértéke jelenleg sokkal kisebb. Az igen változatos geológiai és vízföldtani kép biztosíthatja a különböző jellegű és típusú geotermikus energia hasznosítása alapjainak kiszélesítését Magyarországon (Bobok és Tóth, 2010). A hidrogeológusoknak a pórusnyomások területén is specialitásokra kell számítaniuk. A hévíztároló neogén képződmények általában túlnyomásosak. Több

helyen a pre-neogén képződményekben és az aljzatban még az 50%-ot is meghaladó túlnyomások várhatóak, megnehezítve és drágítva a hasznosítás lehetőségeit.

Alacsony entalpiájú, 30 °C víz hőmérséklet alatti rendszerek, azaz elsősorban nyitott (víztermeléses és visszanyeletéses) és zárt rendszer (szondás és talajkollektoros) hőszivattyús rendszerek telepítésére a karsztos térségek kivételével szinte mindenütt kedvezőek a hazai földtani adottságok. A hidrogeológiai szempontból is érdekes nyitott rendszerek telepítésére hazánk folyóinak hordalékkúp-területei kiemelten alkalmasak, ahol a kiváló hidraulikai jellemzőkkel bíró, sekély mélységű vízadókából komoly hőkészletek nyerhetők ki, amelyek mind lakossági, mind középület-együttesek ellátására alkalmasak lehetnek. Szondás és talajkollektoros rendszerek telepítésére – a karsztos térségek kivételével – a felszín közeli, felszín 80–100 m (max. 250 m) vastagságú, negyedidiszka, pannóniai és a miocén összletek tárolt és utánpótlódó hőkészletének kiaknázására nyílik lehetőség számos hazai területen. A hőszondák alkalmazásának legkedvezőbb területei lehetnek a már említett hazai kavics-teraszok, ahol a homokos kavicsrétegekben az átlagos 60–70 W/m² fajlagos hőteljesítmény helyett akár 80–90 W/m² fűtési- és hűtési teljesítmény elérésére is képesek a hőszondák 100 m/év körüli felszín alatti vízáramlási sebességek esetén. Meg kell jegyezni, hogy ugyanezen a területrészen lehetséges a szondáknál nagyobb hőteljesítményű hőszondás rendszerek létesítésé-

hez a bányahatóság hozzájárulása vagy egy egyszerűsített építési engedélyezési eljárás, a nyitott rendszerek létesítéséhez viszont hosszabb, költségesebb és bonyolultabb vízügyi engedélyezési eljárás társul, ami a potenciális felhasználási kereteket meghatározhatja. A vertikális szondás rendszerek terjedésének akadályai között minőség lehet, laza és finomszemű üledékes képződményekben (homok, homokliszt, iszap és agyag) a jelenlegi fúrási költségek mellett még gazdaságosan, nyolc–tizenkét év megtérülési idő mellett kivitelezhetők lennének az ilyen rendszerek. Reális támogatás mellett a megtérülési idő öt–hét évre csökkenthető. Keményebb görgeteges, vulkáni és üledékes kőzetek esetében a fúrási költségek növekedése miatt még megfelelő geológiai adottságok esetén sem létesíthetők megtérülhető szondás rendszerek. A hőszivattyús rendszerek terjedésének jelenlegi legnagyobb akadályai a rendszerek beruházási igénye. Kedvező szabályozási és támogatási rendszer mellett a hőszivattyús rendszerek tömeges elterjedése várható, amelyek optimális és fenntartható működése a hidrogeológusok szakértelmét is igényelni fogja.

A közepes entalpiájú rendszerek 30–100 °C hőmérsékletű vizeit elsősorban kaskádrendszer kommunális rendszerekben fűtésre és lakossági és ipari használati melegvíz-szolgáltatásra, valamint wellness- és gyógyfürdőkben, mezőgazdasági létesítményekben (üvegházak, fóliasátrak, istállók fűtése, szárítás stb.) hasznosítják. A hévíztároló rendszerek hazai regionális eloszlása alapján megállapítható, hogy Magyarországon geotermikus adottságai a közepes entalpiájú rendszerek tekintetében kimagaslóak. A legkedvezőbb adottságú térségben, a Dél-Alföldön gyakorlatilag minden település esetén földtanilag lehetséges a közepes entalpiájú rendszerekkel történő hőhasznosítás. Világosan látszik azonban, hogy hévízkészleteink termelése sok helyen meghaladja a fenntartható mértéket (Szanyi *et al.*, 2011). E helyeken folyamatos vízszintsüllyedéseket regisztrálhatunk. Ezért nagyon fontos az energetikai célú hévízkivételek esetében a már jogszabályilag is előírt visszasajtolás. Ez természetesen több helyen érdeksérelmeket eredményezhet, ahol először korábban nem volt szükség, s így komoly gazdasági elnyerés lehetett szert tenni. A nagyobb hévízfelhasználók (például városi közmelegítési rendszerek) esetén a gazdasági elnyerés megmarad a visszasajtolás kivitelezése esetén is. Az egy-két vagy a technológiailag elavult néhány hévízkutas vízkivétel esetén akár a gázfűtésnél is drágább fajlagos költségeket eredményezhet a visszasajtoló rendszer kialakítása, különösen porózus vízáadó rétegekbe. Felszín alatti vízkészleteink védelmének azonban magasabb prioritást kell kapnia, mint a lokális gazdasági érdekeknek. A fentebb említett hidrogeológiai okok miatt ugyanis a hévízes rendszereink túlermelése egyrészt kedvezőtlenül alakíthatja ásvány- és gyógyvízkészleteink vízminőségét, másrészt az ivóvízellátás céljára szolgáló felsőbb rétegekben is kedvezőtlen vízszintváltozások történhetnek. A vízvisszasajtolás technológiáját tehát a költségek csökkentése érdekében fejleszteni kell.

Vízgazdálkodási szempontból az azonban elfogadhatatlan, hogy az évi kb. 50 millió m³-nyi energetikai célú hévíztermelés mellett jelenleg csak kb. 4 millió m³-t sajtolnak vissza a felszín alá. A lehetséges, sokszor igen magas sótartalmú vizek eddig felszíni befogadókba kerülve okoztak jelentős környezetterhelést, illetve a felszíni vízfolyásokon keresztül elhagyták az országot. A jövőben emellett hangsúlyt kell helyezni a meglévő vízkivételek hőenergiájának optimalizálására, a többlépcsős hasznosítás terveinek kidolgozására és megvalósítására, a hasznosítás hatásfokának növelésére. A hazai fenntartható geotermikus energiahasznosításra jó példa az utóbbi években az a miskolci nagyléptékű beruházás, amelynek eredményeképpen létrejött Közép-Európa legnagyobb geotermikus hőerőműve mintegy 50 MW fűtési kapacitással. Kistokaj és Mályi térségében 2 termelő és 3 visszasajtoló kút segítségével valósult meg a kivitelezés, ahol a teljes termelt hévíz mennyisége a kaskádrendszer hőhasznosítás után visszasajtolásra kerül a mélykarsztos rendszerbe az energia viszonyok fenntartása miatt. A környékbeli gyógyfürdők védelme érdekében jelenleg nagy érzékenységű monitoring rendszer segítségével próbálják érzékelni az esetleges környezeti hatásokat, amelyeket eddig nem sikerült kimutatni.

A nagy entalpiájú, 100 °C víz hőmérséklet feletti rendszerek létesítésének alapvető célja az elektromos energia termelése, illetve az egységnyi elektromos energia előállításának során keletkező hat-nyolc egységnyi hulladék hőenergia együttes hasznosítása. Bár az országban több helyen is találhatunk olyan területeket (például Fábiansébestyén, Makói-árok, Békéssülyedék, Derecskei-árok), ahol akár 180–200 °C hőmérsékletű felszín alatti vizek állnának rendelkezésre áramfejlesztésre, sajnos ilyen beruházások eddig nem valósultak meg a Kárpát-medencében. Egy sikeres geotermikus koncessziós pályázat eredményeként Battonya térségében folynak előzetes hazai kutatások egy EGS- (HDR) típusú erőmű kifejlesztésére, amelynek prototípusa a németországi Soultzban üzemel. Bár az üzembiztos működés során számos műszaki problémával kell megküzdeni, ugyanakkor a nagy mélységű EGS-rendszerek elvileg több helyen is telepíthetők lennének a medencealjzatban Magyarországon. Igazi szakmai kihívás, hogy nagy mélységben, közel 250 °C hőmérsékletű térségben igen jelentős térfogatú kőzetben kell szabályozott repedésrendszert létrehozni, amelynek kialakítása a káros repesztésekre érzékeny térségekben nem vállalható környezeti kockázatot is jelenthet.

JÖVŐBELI KIHÍVÁSOK A HIDROGEOLÓGUSOK SZÁMÁRA A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN

A hidrogeológusokra számos szakmai kihívás és megoldandó feladat vár nemcsak a Kárpát-medencében, hanem a világon mindenütt (Galloway, 2010). A felszín alatti vizekkel kapcsolatos megoldandó problémák jelentős részének újszerűsége miatt

a korábbiakhoz viszonyítva más típusú oktatási programokat és szakmai felkészültséget kell nyújtanunk a következő hidrogeológus generációknak. Vízkészleteink fentebb ismertetett, határon átnyúló jellege miatt a hazai hidrogeológusoknak még inkább együtt kell működniük a környező országok szakembereivel (Sz. cs et al., 2013). A jövőbeli feladatok egy része a Víz Keretirányelv alapján készült hazai vízgyűjtő-gazdálkodási terv (VGT) célkitűzéseinek a megvalósításához fog kötődni. Ennek a tevékenységnek az első 6 éves ciklusa most zárult 2015-ben, és elindulhat a VGT2 nevezetű újabb hat éves szakmai program. Felszín alatti vizeink esetében is 2015-re és az utána következő időszakban el kell érni a jó mennyiségi és minőségi állapotot mind a 185 felszín alatti víztestünk esetére. Jelenleg felszín alatti víztesteink kb. 70%-a jó állapotú. Természetesen a hidrogeológusoknak ahhoz is eredményes szakmai munkát kell kifejtetni, hogy a már jó állapotban lévő víztesteink esetében ezt a kedvező helyzetet megőrizzük. Az ökológiai szemléletmód terjedése új típusú szakmai gondolkodást és tervezési megközelítést kíván hidrogeológusainktól. A felszín alatti vizekkel függő vízes élőhelyek fenntartása természetvédelmi és turisztikai szempontból is fontos. A nemzetközi együttműködés további színtere lehet a megfelelő szerepvállalás a felszín alatti vizek tekintetében is az EU Duna-régió stratégiában.

Az éghajlatváltozás napjainkban egyre szélsőséesebb időjárási viszonyokat okoz, ami erőteljesen hat a természetes vízkörforgalomra (Sz. cs et al., 2015). E hatások természetesen befolyásolják a felszín alatti vizek természetes utánpótlódási, mennyiségi és minőségi viszonyait, különösen a medence jellegű térségekben. A biztonságos ivóvízellátás miatt kiemelkedő jelentőségű, hogy a szakemberek tisztában legyenek azzal, hogy milyen változások érhetik az ivóvízbázisokat akár már a közeljövőben is. A hazai és határainkon túli vízgyűjtőben várható éghajlatváltozás következtében csökken a felszíni lefolyás, a felszín alatti vizek utánpótlódását biztosító beszivárgás, összességében várható a hasznosítható vízkészleteink fogyatkozása. Indikátor és monitoring rendszer fejlesztése, illetve kialakítása szükséges, amellyel nyomon követhetők az éghajlatváltozás vízjárási és vízgazdálkodási következményei. A különböző lehetséges forgatókönyvek figyelembevételével modellezni, szimulálni és számszerűsíteni lehet a várható hatásokat. A megfelelő vízkészlet-gazdálkodási stratégia kialakítása mellett olyan metodikák is kialakíthatók, melyek a felszíni lefolyási, beszivárgási viszonyok módosításával ezen várható negatív változások hatásait mérsékelik, esetleg ki is küszöbölik. A talajvíz szintje határozza meg a felszín alatti vízzel függő ökoszisztémáink állapotát is, amely rendszerek közül számos nemzetközi védelem alatt áll. Az aszály-belvíz-öntözési víz-vízes élőhely problémakör Magyarországon tartósan nem oldható meg a felszín alatti vízrendszerek figyelembevétele nélkül. A mezőgazdaság számára kiemelkedő fontosságú, hogy a telítetlen közeg vízforgalmi és vízraktá-

rozási viszonyait még pontosabban meg tudjuk határozni.

A hidrogeológiai modellezésnek a jövőben még erőteljesebb szerepet kell kapnia a szakmai döntéssel készítéseknél. A felszín alatti vízkészleteket érintő várható hatások hidrogeológiai modellezéssel ma már magas szakmai színvonalon, pontosan és megbízhatóan szimulálhatók. További fejlesztések várhatóak a speciális, felszín alatti vizekbe is jutó szennyezőanyagok (például: DNAPL, klórozott szénhidrogének, radioaktív izotópok) transzportfolyamatainak pontosabb leírása és szimulációja érdekében. A 2013-ban Abasáron detektált triklór-etilén és szén-tetraklorid felszín alatti szennyeződések mozgásának szimulációját megbízható pontossággal sikerült elvégeznie a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszékének (Zákányi és Sz. cs, 2014). A hidrogeológiai modellezésnek továbbra is igen jelentős szerepe lesz a felszín alatti környezetszennyeződések felszámolását megcélzó kármentesítési eljárások tervezésében, méretezésében és működtetésük nyomon követésében (Simonffy, 1998). A hidrogeotermikus rendszerek hatékony vizsgálatánál pedig a h-transzport modellezése jelentősen segíthet. A hidrogeológusoknak ma már nem elég csak a felszín alatti vizekkel foglalkozniuk. A vízkörforgalom révén minden mindennel összefügg. A természeti változások, valamint az emberi beavatkozások eredményeként egy-egy adott helyen a felszín alatti vizek új egyensúlyi helyzet kialakítására törekednek. E dinamikus rendszerben a vízkészletekkel való foglalatosság interdiszciplináris és holisztikus megközelítést követel, amelynek keretében a Kárpát-medence vízgazdálkodásával kapcsolatos műszaki, természettudományi, gazdasági, jogi és társadalmi kérdéseket tárgyalják.

Számos új, nagy léptékű beruházás várható a jövőben, ahol a hidrogeológusokra speciális és fontos feladatok várnak. Bár a pénzühiány miatt folyamatosan húzódott, lassan véglegesen állást kell foglalni a paksi, nagy aktivitású radioaktív hulladék végleges elhelyezése ügyében. Elindult ugyan korábban egy ún. BAF- (Bodai Aleurolit Formáció) projekt, amely most már évek óta takaréklángon üzemel. A 2011. tavaszi földrengéssel kapcsolatos japán események is azonban rávilágítottak arra, hogy a nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésével kapcsolatos szakmai követelményeket nem szabad felpuhítani. A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok számára Bataapátiban épült hulladéktároló sok tekintetben nem nyújthat megfelelő biztonságot a nagy aktivitású hulladékok esetében. Nagy mélységben elhelyezkedő, megfelelő műszaki és földtani védelem helyszínt kell kijelölni és engedélyeztetni a megnyugtató megoldás érdekében. Ebben a komoly kihívást jelentő szakmai feladatban a hidrogeológusoknak is kulcsszerepet kell játszaniuk. A növekvő energia- és ásványi nyersanyag-igények miatt újbóli megerősödése körvonalazódott a különböző bányászati tevékenységeknek a Kárpát-medencében a globális trendeknek megfelelően. A szénhidrogén-kihozattal növekvő speciális eljárások

üzemi alkalmazása mellett a szénhidrogén-hidrogeológia szélesebb kör bevezetése a Kárpát-medencében új sikereket hozhat a hazai és térségi olajipar számára (*Czauner and Mádl-Sz nyi*, 2011). Innovatív bányászati technológiák (például szuperkritikus szén-dioxid alkalmazása ércek kinyerésére) elterjedése is új és speciális feladatok ellátását várja a jövő hidrogeológusaitól. Remélhet, hogy kedvez természeti adottságai révén a Kárpát-medence helyszíne lehet akár több EGS-projektnek is a jövőben, illetve hamarosan megszületik az első geotermikus villamos erőmű hazánkban.

A felszín alatti áramlási rendszerek törvényszerűségeinek megértésében, a mélységi anyag- és hőszállítási folyamatok leírásában mind nagyobb szerepet kap az utóbbi időben a hidrogeokémia (*Varsányi et al.*, 2015), illetve a környezeti izotópok részletes vizsgálata (*Berecz et al.*, 2001). A jövő hidrogeológusainak oktatásában sokkal hangsúlyosabban kell szerepelnie a környezeti kémiának (*Dobosy et al.*, 2016). Emellett nagyon fontos a legújabb matematikai, valószínűségi és geostatisztikai módszerek megismertetése is a szakemberekkel (*Hatvani et al.*, 2014). A determinisztikus eljárások mellett a ritkán alkalmazott sztochasztikus módszereknek a hidrogeológiában igen nagy a jelentőségük, hiszen a legtöbb esetben nem teljesen feltárt inhomogén és anizotrop közegből származó mérési adatokkal dolgozunk. A származtatott eredményeink minden esetben némi bizonytalansággal terhelték, amelyek korrekt megnevezése és számszerűsítése még inkább erősítheti szakmai eredményeink elfogadottságát és hitelességét (*Szűcs et al.*, 2006).

Az új víziközmű-törvény egyebek mellett remélhetőleg magasabb színvonalú szakmai munkát fog elírni az üzemeltetők számára, ami a hidrogeológusok pozíciójának tovább erősítését eredményezheti a közműszolgáltatás ágazatán belül. A jelenlegi igen magas országos hálózati veszteség, illetve a túlságosan sok, szennyvíztisztító nélküli kistéleplés miatt az ún. szennyvíz-hidrogeológiai kérdésekkel is egyre többet kell foglalkozniuk a szakembereknek. A már korábban említett vízbázisvédelmi, vízellátási és ivóvízminőségjavító program keretében továbbra is jócskán lesz feladatuk a hidrogeológusoknak.

A FELSZÍN ALATTI VIZEKKEL KAPCSOLATOS KUTATÁSOK HELYZETE HAZÁNKBAN

A VITUKI megszűnése után a hidrogeológiai kutatások döntően felsőoktatási intézményekben zajlanak hazánkban. Egyetemi szinten a legnagyobb hazai felszín alatti vizes oktatási és kutatási központ a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézete, ahol az oktatói és kutatói létszám 15-20 fő körül ingadozik. Mesterképzési (MSc) szinten a hidrogeológia önálló szakként történő oktatása egyedül Miskolcon valósul meg hazánkban. Emellett a hidrogeológia oktatása a Miskolci Földtudományi Kar több egyéb szakán belül

is megvalósul. A Miskolci Egyetemen a hidrogeológiai kutatások széles spektrumot fognak át. A klasszikus áramlástan és kúthidraulikai vizsgálatok, a vízbázisvédelem, a karszthidrogeológia, a hidrodinamikai és transzport modellezés, a vízkészletek feltárása és fenntartható hasznosítása, a vízminőségvédelem, a geotermikus energiahasznosítás, a határral osztott vízátló vízgazdálkodási kérdései, a vízi közműszolgáltatás fejlesztése, az utánpótlódási viszonyok meghatározása, a környezeti izotópok hidrogeológiai alkalmazása, a monitoring rendszerek fejlesztése, a bányászati víztelenítés, a kármentesítés, a geoinformáció feldolgozás, valamint a környezeti kockázatelemzés mind megtalálható a jelenleg is futó kutatási projektekben. A széleskörű ipari megbízások mellett az utóbbi 5 évben komoly forrást jelentettek a TÁMOP pályázatok. A mintegy félmilliárd forint támogatású KÚTF pályázatot 2015. április végén fejezték be Miskolci Egyetemen kiemelkedő kutatási eredményekkel a hidrogeológia területén (*Szűcs et al.*, 2015). A KÚTF pályázat eredményeként jelenleg két hidrogeológiai vonatkozású nyertes Horizon 2020-as pályázattal is rendelkezik a Környezetgazdálkodási Intézet jelezve a nemzetközi beágyazottságot a kutatás területén is. E kutatási potenciált jelentősen erősíti egy akadémiai finanszírozású kutatócsoport is. Az MTA-Miskolci Földtudományi Kutatócsoport tevékenysége ma már döntően speciális hidrogeológiai kutatási témákhoz kötődik.

Miskolc mellett az ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszéke jelenti a másik nagy hazai egyetemi oktatási és kutatási központot a hidrogeológia vonatkozásában. A Hidrogeológiai és Geotermia Miskolci Kutatási Területei a medencehidraulika, karszthidrogeológia, sérülékenységi, geotermia hidrogeológiai vonatkozásai, olajhidrogeológia, felszíni és felszín alatti vizek kapcsolatának vizsgálata. A hidrogeológiai kutatásokban itt is jelentős szerepet játszik a modern geomatematikai módszerek széleskörű alkalmazása. A dinamikus faktoranalízis hidrogeológiai alkalmazása számos kiemelkedő kutatási eredményt hozott. A kutatások finanszírozásában az utóbbi időben az OTKA mellett az ipari megbízások jelentik a fő anyagi forrást. Évente számos nemzetközileg elismert professzor látogat el a kutatócsoporthoz és előadással, rövidkurzusokkal járul hozzá az oktatás magas színvonalához. Az International Association of Hydrogeologists (IAH) nemzetközi szervezetén belül kiemelt témakör a regionális felszín alatti vízáramlási koncepció minél szélesebb körű elterjesztése az oktatás, kutatás és a gyakorlati alkalmazás területén. Ezen szakbizottság vezeti az ELTE munkacsoport tagja.

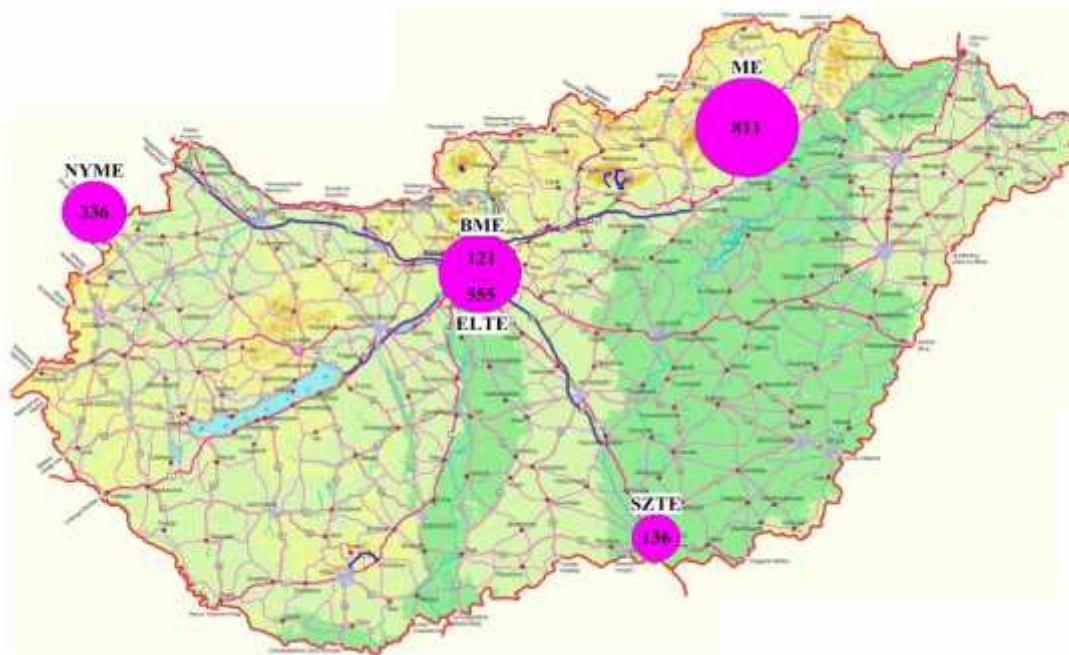
A két legnagyobb egyetemi hidrogeológiai centrum mellett további jelentős kutatások folynak a felsőoktatásban a felszín alatti vízkészletekkel kapcsolatban a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékén, a Szegedi Tudomány Egyetem Ásványtani, Geokémiai és Környezeti Tanszékén, a Nyugat-magyarországi Egyetem, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézetében, és kisebb léptékben a Debrecen-

ni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszékén. A BME-n els sorban kúthidraulikai, városi hidrogeológiai (*Hajnal*, 2007) és vízháztartási vizsgálatok (*Szilágyi*, 2014) jelentik a f kutatási irányokat a felszín alatti vízkészletek vonatkozásában. Szegeden és Debrecenben els sorban a geotermikus energiahasznosítással és a fenntartható hévíztermeléssel kapcsolatos kutatási területeken van a f hangsúly. Szegeden a geotermikus kutatáson belül, mind a kis-, közepes- és nagy entalpiájú geotermikus rendszerek kutatásával foglalkoznak elméleti és gyakorlati értelemben egyaránt. Továbbá együttm ködnek egy újfajta, lézeres lyukbefejező technológia fejlesztésében, ami a geotermika és olajipar számára egyaránt hasznos lehet. Ezek mellett évtizedek óta foglalkoznak a felszín alatti vizek eredetének, geokémiai összetételének vizsgálatával, a felszín alatti áramlási rendszerek elméletének geokémiai alátámasztásával. Sopronban a kutatások zömében vízháztartási vizsgálatokra, az utánpótlódási viszonyok meghatározására, továbbá a széls séges id járási viszonyok felszín alatti vizekre gyakorolt hatásának meghatározására koncentrálnak (*Gribovszki et al.*, 2013).

A hazai hidrogeológiai kutatások tekintetében meg kell említeni az akadémiai kutatóhálózatban folyó munkát is. Az MTA CsFK Földtani és Geokémiai Intézetben valamint az MTA ATOMKI Környezet- és Földtudományi Osztályon számos magas színvonalú kutatási program zajlik a hidrogeokémia és a környezeti izotópok hidrogeológiai célú alkalmazása területén. Ez a két akadémiai intézet sok esetben közös kutatásokban vesz részt a fentebb említett egyetemi kutatóhelyekkel. Végül, de nem utols sorban meg kell említeni a Magyar Földtani és Geofizikai Intézetet is, amelynek Vízföldtani F osztálya szintén az egyik legjelent sebb hazai felszín alatti vizes kutatási központ, jelent s hazai és nemzetközi kutatási témákkal. A jelenleg is folyó f bb kutatások: országos, illetve országhatáron átnyúló hidrodinamikai és transzportmodell fejlesztések regionális és lokális szinten a fenntartható hazai és határon átnyúló ivó- és hévízgazdálkodás megalapozásához, a klímaváltozás hatásainak vizsgálata és a válaszadási stratégiák kidolgozása (NATÉR projekt), az ország geotermikus energiájának felhasználására vonatkozó kérdések megválaszolása, víz-geokémiai és izotóp hidrogeológiai kutatások, karszthidrogeológiai kutatások és kutatásfejlesztések, úgymint karsztjárat távolság és mátrix blokkok hidraulikai paramétereinek vizsgálata, heterogén rendszerek hidraulikai alapú kvantitatív

osztályozása, kvantitatív hidrogram dekompozíció, kúthidrogram elemzés. További kiemelt témák a bányászati koncessziós pályázatok el készítését biztosító érzékenységi- és terhelhet ségi vizsgálatok, földtani veszélyforrásokkal érintett területek felülvizsgálata és az üvegházhatású gázok kibocsátásának vizsgálata. Emellett az MFGI jelent s szerepet játszik az EU Víz Keretirányelv által el írt hazai felszín alatti vízszint-megfigyel rendszer egy részének üzemeltetésében, az adatok feldolgozásában, adatszolgáltatásában, valamint a hazai felszín alatti víztestek állapotértékelésében, vízmin ségi trendvizsgálatában, és 2013 áprilisa óta az MFGI Vízföldtani F osztálya végzi a Vízföldtani Naplók készítését, az Országos Kútataszter vezetését és az Országos Központi Vízföldtani Adattár m ködtetését.

A magyar hidrogeológiai kutatások nemzetközi láthatósága jelent sen növekedett az elmúlt 10-15 éves id szakban köszönhetően a megnövekedett publikációs aktivitásnak, amelyben egyre nagyobb szerepet kapnak a min ségi és nemzetközi publikációk. A Magyar Tudományos M vek Tárában (MTMT-ben) található információk alapján készült el a 3., 4., 5., 6. és a 7. ábra. A vizsgálatba a publikációs szempontból legjelent sebb szerepet játszó 5 fels oktatási intézmény került bevonásra (ME Környezetgazdálkodási Intézet – 12 f vizsgált kutató, ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék – 6 f vizsgált kutató, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék – 3 f vizsgált kutató, a SzTE Ásványtani, Geokémiai és K zettani Tanszék – 4 f vizsgált kutató, és az NyME Geomatematikai, Erd feltárási és Vízgazdálkodási Intézet – 3 f vizsgált kutató). A jelen vizsgálatba a fentebb említett akadémiai kutatóhelyek és kutatócsoport, valamint az MFGI publikációs teljesítménye nem került értékelésre. Az ábrákon szerepl információk egyértelm en jelzik azt, hogy jelent s és nemzetközi hatású publikációs tevékenység folyik a hazai, hidrogeológiával foglalkozó egyetemi kutatóhelyeken. A min ségi publikációk tekintetében ma már nem érhetőek el az impakt faktorok az MTMT-ben, így ilyen jelleg számszer sítésre most nem kerülhetett sor. A vizsgált adatokból egyértelm en kiderül, hogy a publikációs tevékenysége és ez által a nemzetközi láthatósága és ismertsége egyre növekszik a hazai hidrogeológiai kutatásoknak, amelyek természetesen sok esetben nemzetközi együttm ködésben valósulnak meg. A kapott információk egyértelm en jelzik a hazai hidrogeológiai kutatási potenciál nagyságát és nemzetközi színvonalát.



3. ábra. Az elmúlt 10 évben készült (2006-2015), MTMT-ben rögzített hidrogeológiai témájú publikációk eloszlása a vizsgált egyetemi intézményekben

Figure 3. The number of hydrogeological related research publications (statistics from MTMT) at the investigated universities in the past 10 years (2006-2015)



4. ábra. Az elmúlt 10 évben készült (2006-2015), MTMT-ben rögzített hidrogeológiai témájú tudományos folyóiratcikkek eloszlása a vizsgált egyetemi intézményekben

Figure 4. The number of hydrogeological related scientific journal articles (statistics from MTMT) at the investigated universities in the past 10 years (2006-2015)



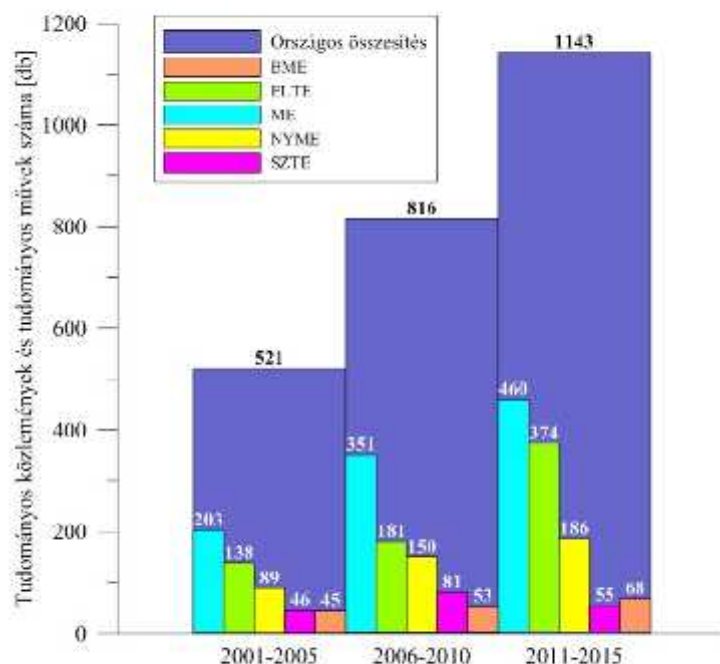
5. ábra. Az elmúlt 10 évben készült (2006-2015), MTMT-ben rögzített hidrogeológiai témájú nemzetközi folyóiratcikkek eloszlása a vizsgált egyetemi intézményekben

Figure 5. The number of international hydrogeological related journal articles (statistics from MTMT) at the investigated universities in the past 10 years (2006-2015)



6. ábra. A hidrogeológiával foglalkozó kutatók MTMT-ben rögzített összesített idézettség számának az eloszlása a vizsgált egyetemi intézményekben

Figure 6. The number of citations (statistics from MTMT) of the hydrogeology related researchers at the investigated universities



7. ábra. 5 éves bontásban az elmúlt 15 éves id szak MTMT-ben rögzített tudományos közleményeinek száma a vizsgált egyetemi intézményekben és a Miskolci Egyetemen

Figure 7. The number of scientific papers (statistics from MTMT) at the investigated universities and at the University of Miskolc in the past 15 years

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen áttekint anyag egy korábbi megjelent tanulmány (Sz cs, 2012) átdolgozásán és jelent s kiegészítésén alapul.

Az ivóvízellátásban jelent s szerepet betölt , a jövőben is védendő , felszín alatti vízkészleteink kiemelkedő természeti értéket képviselnek. Ásvány-, gyógyvíz és hévízkészleteink is számottevőek, amelyek szélesebb kör hasznosítása nemzetgazdasági érdek. A Kárpát-medence szint fellépés az ásványvizek és gyógyvizek marketingje érdekében sokat javíthat a jelenleg elfoglalt európai piaci pozíciókon és a hasznosítási lehetőségeken. Tisztában kell lenni azzal, hogy felszín alatti vizeink nem kimeríthetetlenek, sőt az Alföld egyes területein a kihasználtság már jelenleg is közel 100%-os. A jövőben még fontosabbá válik, hogy a hidrogeológusok az eddigieknél megbízhatóbban adják meg lokális vagy regionális léptékben a felszín alatti hasznosítható vízkészleteket. Az energetikai célú hévizek növekvő mértékű visszasajtolásával részben fenntartható az ásvány- és gyógyvizeket is magukban foglaló mélyebb rétegvizes rendszerek hidraulikai és vízminőségi viszonyai. Bár a prognosztizált éghajlatváltozási forgatókönyvek alapján a hasznosítható felszín alatti vízkészletek némi csökkenése várható, a biztonságos és fenntartható ivóvízellátás generációkon keresztül biztosítható hazánkban regio-

nális vízellátó rendszerek üzemeltetésével, valamint a mindenkori kormányok által támogatott megfelelő nemzeti vízgazdálkodási stratégia alkalmazásával. Erre garanciát nyújt az a tény is, hogy a jelenleg is üzemelő vízbázisainkon kívül igen jelentős tartalékaink, távlati vízbázisaink vannak. Az ivóvízellátásban hosszú távon is a felszín alatti vizek mellett szól a kiszámíthatóbb és stabilabb vízminőség, illetve a nagyobb védetség a felszíni szennyezésekkel szemben.

Bár a földi vízkörforgalom révén a felszíni és felszín alatti vízkészletek nagyon szoros kapcsolatban állnak egymással, igen különböző jellegű szakmai felkészültségre van szükség a felszíni és a felszín alatti problémák vizsgálatára és megválaszolására. Ma már politikai, szakmai és tudományos körökben is mindenki elismeri, hogy Magyarország felszín alatti vízkészletei stratégiai jelentőségűek. Nekünk hidrogeológusoknak a jelenleginél is erőteljesebb összefogást kell demonstrálnunk annak érdekében, hogy a felszín alatti vizeket érintő jelentős szakmai kérdésekben elsősorban a mi véleményünk és javaslatunk alapján foglaljanak állást, illetve történjen meg a döntéshozatal Magyarországon. Így biztosítható, hogy a hidrogeológusok aktívan és érdemben tudjanak részt venni hazánk vízgazdálkodási problémáinak (Somlyódy, 2011) megoldásában, illetve a felszín alatti vízkészle-

teket érint stratégiai kérdések részletes kidolgozásában. Bizakodásra ad okot, hogy a most elkészült Nemzeti Vízstratégiában, a Kvassay Jen Tervben (URL2) a hazai felszín alatti vízkészletek jelentőségüknek és súlyuknak megfelelően szerepelnek.

A jól képzett hidrogeológusokra tehát a jövőben még nagyobb szükség lesz hazánkban és a Kárpát-medencében. Számos tradicionális és új típusú feladat vár a felszín alatti vizekkel foglalkozó jövőgenerációkra. A szakma interdiszciplináris jellege miatt fontos, hogy a felszín alatti vizekkel kapcsolatos képzési programjaink figyelembe vegyék a nemzetközi trendeket (Voss, 2005) és a Kárpát-medence speciális hidrologiai és hidrogeológiai sajátosságait. Kedvező, hogy mind több kollégánk vesz részt nemzetközi szakmai szervezetek munkájában és irányításában, erősítve azokat a szakmai kapcsolatokat is, amelyek feltétlenül szükségesek határon átnyúló szakmai kérdések még hatékonyabb megoldásában a Kárpát-medencében. A szakmai nemzetközi kapcsolatainak további erősítésében jelentős szerepet játszik az IAH (International Association of Hydrogeologists) Magyar Nemzeti Bizottsága, amely összehangolja tevékenységét az IUGS (International Union of Geological Sciences) Magyar Nemzeti Bizottsággal. A címben felvetett kérdés együttes továbbgondolásában segítséget jelentett a 2013-ban hazánkban megrendezett nemzetközi IAH hidrogeológiai konferencia, amely elsősorban a Kárpát-medence és Közép-Európa hidrogeológiai specialitásaira és megoldandó regionális és lokális feladataira fókuszált.

Hazánkban a felszín alatti vizekkel kapcsolatos kutatások kiterjedtek, széleskörűek és nemzetközi színvonalat képviselnek. A felszín alatti vizekkel kapcsolatos jövőbeli kihívások egyértelműen igénylik az új kutatási eredményeket és az innovatív megoldásokat a gyakorlati megoldások kivitelezésében. A kutatásokat folytató, többségében egyetemi intézmények között jelentős, elsősorban önszerveződően alapuló együttműködések már eddig is létrejöttek. Érdemi továbbfejlesztési lehetőséget és hatékonyság növelést is jelenthetnek a kutatásokban, ha a hazai operatív vízgazdálkodás feladatainak összehangolt megoldásában nagyobb és érdemi szerepet kaphatnának a hazai hidrogeológiai kutatásokat folytató kutatóhelyek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az ismertetett kutatómunka a Miskolci Egyetemen működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049 jelű „KÚTF” projektjének részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

Berecz T., Fórizs I., Deák J. (2001). Felszín alatti vizek környezeti izotópos és kémiai vizsgálata a Duna-

Tisza köze déli részén. *Hidrologiai Közlemények*. **81** (2), 118–124.

Bobok E., Tóth A. (2010): A geotermikus energia helyzete és perspektívái. *Magyar Tudomány*. **8**, 926–936.

Borszéki B. Gy. (1998). *Ásványvizek, gyógyvizek*. MÉTE, Budapest.

Bozó L. (ed.) (2010). *Köztisztviselői Stratégiai Programok. Környezeti jövő kép – Környezet- és klímabiztonság*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest

Buday T., Sz. cs P., Kozák M., Püspöki Z., McIntosh R. W., Bódi E., Bálint B., Bulátkó K. (2015). Sustainability aspects of thermal water production in the region of Hajdúszoboszló-Debrecen, Hungary. *Environmental Earth Sciences* **74**, 7513–7521.

Büki G., Lovas R. (ed.) (2010). *Köztisztviselői Stratégiai Programok. Megújuló energiák hasznosítása*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest

Czauner B., Mádl-Sz. nyi J. (2011). The function of faults in hydraulic hydrocarbon entrapment: Theoretical considerations and a field study from the Trans-Tisza region, Hungary. *AAPG Bulletin* **95**, 795–811.

Czauner B., Mádl-Sz. nyi J. (2013). Regional hydraulic behaviour of structural zones and sedimentological heterogeneities in an overpressured sedimentary basin. *Marine and Petroleum Geology*, **48**, 260–274.

Dobosy P., Sávoly Z., Óvári M., Mádl-Sz. nyi J., Záray G. (2016). Microchemical characterization of biogeochemical samples collected from the Buda Thermal Karst System, Hungary. *Microchemical Journal* **124**, 116–120.

Erőss A., Mádl-Sz. nyi J., Surbeck H., Horváth Á., Goldscheider N., Csoma É. A. (2012). Radionuclides as natural tracers for the characterization of fluids in regional discharge areas, Buda Thermal Karst, Hungary. *Journal of Hydrogeology* **426–427**, 124–137.

Galloway D. L. (2010). The Complex Future of Hydrogeology. *Hydrogeology Journal*. **18**, 807–810.

Gribovski Z., Kalicz P., Szilágyi J. (2013). Does the accuracy of fine-scale water level measurements by vented pressure transducers permit for diurnal evapotranspiration estimation. *Journal of Hydrology*, ELSEVIER, **488**, 166–169.

Hajnal G. (2007). *Városi hidrogeológia*. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Hatvani, I.G., Magyar, N., Zessner, M., Kovács, J., Blaschke, A.P. (2014). The Water Framework Directive: Can more information be extracted from groundwater data? A case study of Seewinkel, Burgenland, eastern Austria. *Hydrogeology Journal*, **22**(4), 779–794.

Juhász J. (2002). *Hidrogeológia*. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Marton L. (2009). *Alkalmazott hidrogeológia*. ELTE Eötvös, Budapest.

Mádlné Sz. nyi J. (2006). *A geotermikus energia*. Grafon, Nagykovácsi.

Mádl-Sz. nyi J., Pulay E., Tóth Á., Bodor P. (2015). Regional underpressure: a factor of uncertainty in the geothermal exploration of deep carbonates, Gödöllő Region, Hungary. *Environmental Earth Sciences* **74**(12), 7523-7538.

Simonffy Z. (1998). *Szennyezés és terjedési modellek alkalmazása. Kármentesítési Kézikönyv 1. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium*, Budapest.

Somlyódy L. (ed.) (2011). *Köztisztítási Stratégiai Programok. Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest.

Szanyi J., Kovács B. (2010). Utilization of Geothermal Systems in South-East Hungary. *Geothermics*, **39**, 357-364.

Szanyi J., Kovács B., Czinkota, B., Kóbor, T., Medgyes, M., Barcza, A., Bálint, and S. Kiss (2011). Sustainable Geothermal Reservoir Management Using Geophysical and Hydraulic Investigations. *Proceedings of the 2011 World Environmental and Water Resources Congress California*, 871-875.

Székely F. (2010). Hévízeink és hasznosításuk. *Magyar Tudomány*, **12**, 1473-1485.

Székely F.; Sz. cs P.; Zákányi B.; Cserny T.; Fejes Z. (2015). Comparative analysis of pumping tests conducted in layered rhyolitic volcanic formations. *Journal of Hydrology*, ELSEVIER, **520**, 180-185.

Szilágyi J. (2014). Temperature corrections in the Priestley-Taylor equation of evaporation. *Journal of Hydrology*, ELSEVIER, **519**, 455-464.

Sz. cs T., Tóth Gy., Rman N., Schubert G., ernák R. (2013). Hydrogeochemistry in transboundary thermal water management. *Water Rock Interaction WRI 14. Procedia Earth and Planetary Science* **7**, 826-829.

Sz. cs T., Rman N., Süveges M., Palcsu L., Tóth Gy., Lapanje A. (2013). The application of isotope and chemical analyses in managing transboundary groundwater resources. *Applied Geochemistry* **32**, 95-107.

Sz. cs P., Civan, F., Virág M. (2006). Applicability of the Most Frequent Value Method in Groundwater Modeling. *Hydrogeology Journal* (Springer), **14**, 31-43.

Sz. cs P. (2012). Hidrogeológia a Kárpát-medencében – hogyan tovább? *Magyar Tudomány*, **5**, 554-565.

Sz. cs P., Virag M., Zákányi B., Kompár L., Szántó J. (2013). Investigation and Water Management Aspects of a Hungarian-Ukrainian Transboundary Aquifer. *Water resources* **40**(4), 462-468.

Sz. cs P., Kompár L., Palcsu L., Deák J. (2015). Estimation of groundwater replenishment change at a Hungarian recharge area. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, **10**(4), 227-246.

Sz. cs P., Fejes Z., Zákányi B., Székely I., Madarász T., Kolencsikné Tóth A., Gombköt I. (2015). Results of the WELLaHEAD Project connected to water and mining. Geothermal potential of the Tokaj-Mountains. Pilot test of passive acid mine drainage water management. *FOG – Freiberg Online Geology*, **40**, 170-177.

Sz. cs P., Sallai F., Zákányi B., Madarász T. (ed) (2009). *Vízkezelés- és védelem. A vízminőség-védelem aktuális kérdései*. Bóbor, Miskolc.

Voss, C. I. (2005). The Future of Hydrogeology. *Hydrogeology Journal*, **13**, 1-6.

URL1: <http://www.vizeink.hu> [Országos Vízügyi F. igazgatóság (2015). A Duna vízgyűjtő magyarországi része. *Vízgyűjtő-gazdálkodási terv*. VGT2, 2015.]

URL2: <http://www.vizeink.hu> [Országos Vízügyi F. igazgatóság (2015). Kvassay Jenő Nemzeti Vízstratégia, 2015.]

Varsányi I., Ó. Kovács L., Bálint A. (2015). Hydraulic conclusions from chemical considerations: groundwater in sedimentary environments in the central part of the Pannonian basin, Hungary. *Hydrogeology Journal*, **23**, 423-435.

Zákányi B. - Sz. cs P. (2014). Víznyelések, nem vizes fázisú szennyező anyagok transzportfolyamatainak szimulációja felszín alatti közegben. *Földtani Közlöny*, **144**(1), 63-70.



SZ. CS PÉTER a Nehézipari Műszaki Egyetem Bányamérnöki Karán szerzett kiegészítő geofizikus-mérnöki oklevelet 1988-ban. Oktatói és kutatói pályájának elején elszőrt a Geofizikai Tanszéken, majd az MTA Bányászati Kémiai Kutatólaboratóriumában dolgozott. 1993-ban Dr. Univ. címet, majd 1996-ban PhD doktori oklevelet szerzett. 2009-ben megszerezte az MTA doktora tudományos címet, illetve sikeresen habilitált a Miskolci Egyetemen. 1998 óta a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Tanszékén dolgozik. 2010-ben egyetemi tanári kinevezést kapott. Kétszeres Bolyai János Kutatási Ösztöndíj

jas, kétszeres Fulbright kutatói ösztöndíjas, egyszer pedig Széchenyi István Ösztöndíjat kapott. Publikációs tevékenységének elismeréseként háromszor adományozták részére a Szádeczky-Kardoss Elemér Díjat. Publikációinak száma mintegy 400.

MIKITA VIKTÓRIA: tudományos segédmunkatárs, 2007-ben végzett okl. környezetmérnökként a Miskolci Egyetemen. 2008 óta a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Tanszékén dolgozik. Több hazai és nemzetközi kutatási projektben vett részt, majd 2014-ben PhD doktori oklevelet szerzett. 2013-tól a MMK tagja. F. kutatási területe a felszín alatti vízmozgások és transzportfolyamatok modellezése, kármentesítések tervezése, illetve roncsolásmentes vizsgálati módszerrel a talajmechanikai és szivárgáshidraulikai folyamatok követése.

A sekély felszín alatti vizek klímaérzékenységeinek országos lépték kvantitatív vizsgálata

Kovács Attila*, Marton Annamária**, Tóth György* és Szűcs Teodóra*

*Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 1143 Budapest, Stefánia út 14.

**Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024, Budapest, Kitaibel Pál u. 1.

Kivonat

A klímaváltozás a vízmérleg megváltozásán keresztül a felszín alatti vizek állapotát is befolyásolja. A csapadék és a hőmérséklet megváltozása közvetlenül hat az evapotranszpirációra és a beszivárgásra, és közvetetten a mesterséges vízkivételekre. Jelen tanulmány a NATÉR projekt keretében elvégzett országos léptékű talajvíz modellezés eredményeit ismerteti. A tanulmány célja a klímaváltozás sekély felszín alatti vizekre gyakorolt közvetlen hatásainak a vizsgálata volt. A projekt során kvantitatív módszertant dolgoztunk ki a talajvíz tükrök különböző klímaviszonyok mellett kialakuló eloszlásának meghatározására, melyet országos léptékben alkalmaztunk. A kialakított dinamikus, moduláris módszer során először klímazónákat és beszivárgási zónákat határoztunk le, melyekre meghatároztuk a beszivárgást egydimenziós hidrológiai modellek segítségével. A modellezett beszivárgások alkalmazásával a talajvíz országos eloszlását numerikus vízföldtani modellek segítségével határoztuk meg. A sekély felszín alatti vizek természetes állapotát mért klímaműködési paraméterek felhasználásával határoztuk meg. Modell elrejelzéseket regionális klímamodell eredmények felhasználásával végeztünk három időintervallumra. A beszivárgás és a talajvíz szintek csökkenése követhető nyomon a hegyvidéki területeken mind a mért adatokból, mind pedig a klímamodell eredményekből levezetett szimulációk alapján. A jelen tanulmányban modellezett eloszlások országos léptékű pontossággal készültek, de a kidolgozott módszertan bármely léptékben alkalmazható a sekély felszín alatti vizek klímaérzékenységeinek vizsgálatára.

Kulcsszavak:

Klimaváltozás, beszivárgás, talajvíz, modellezés

Quantitative investigation of climate change impact on shallow groundwater conditions in Hungary

Abstract

Global climate change is impacting on groundwater resources through modification of water balance. Rainfall and temperature changes have direct influence on recharge and evapotranspiration, as well as indirect influence on groundwater withdrawals. The goal of this study was to develop a methodology for the assessment of direct climate impact on shallow groundwater resources and to apply this methodology for the country-scale investigation of groundwater conditions in Hungary. The applied modular modelling methodology included the delineation of climate and recharge zones, calculation of water balances using hydrological models and the simulation of groundwater table with numerical groundwater models for various climate scenarios. Natural-state conditions were simulated based on measured climate parameters and historical groundwater level calibration data. Predictive modelling was undertaken using regional climate model projections for three time intervals. Regional climate models indicate rising annual average temperature and decreasing annual rainfall rates in Hungary until the end of the 21st century. Based on simulation results, recharge rates are expected to decrease in mountainous areas. Predictive simulations also indicate significant water level drops in elevated areas. A more subtle water level drop was simulated along foothill areas. Simulation results are representative of groundwater conditions at regional scale. The introduced methodology is valid for modelling climate impact on shallow groundwater resources at various scales.

Keywords:

Climate change, recharge, groundwater, modelling

BEVEZETÉS

Ez a tanulmány a NATÉR projektben az országos talajvíz eloszlás modellezésére alkalmazott módszertan ismertetését, és a modellezés eredményeit tartalmazza. A projekt célja olyan módszertan kidolgozása volt, melynek segítségével a sekély felszín alatti víztükrök (a továbbiakban talajvíz) különböző klímaviszonyok mellett modellezhető. A módszertan célja, hogy a klímaváltozás talajvízre gyakorolt hatását vizsgálja, és jellemezze a sekély felszín alatti vizek klímaérzékenységét.

Ez a tanulmány a készítése során hozzáférhető adatok alapján készült. A vizsgálatok eredményei a felhasznált adatbázisok hibáit és hiányosságait is tar-

talmazzák. A modellezett eloszlások országos léptékű pontossággal készültek, ezért lokális vizsgálatok céljára nem alkalmasak. A projekt során kidolgozott modellezési módszertan és eszköztár alkalmas mind frissített és kibővített bemeneti adatbázisok, mind pedig nagyobb felbontás mellett az eredmények nagyobb pontosságú elállítására, így sokrétű eszközt jelent a sekély felszín alatti vizek eloszlásának és klímaérzékenységeinek a meghatározásához.

MÓDSZERTAN

A talajvíz országos eloszlásának különböző klímaviszonyok mellett történő meghatározásához dinami-

kus, moduláris módszert dolgoztunk ki, amelyik az alábbi komponenseket tartalmazza:

1. Klímazónák meghatározása klíma paraméterek országos eloszlása alapján,
2. Beszivárgási zónák lehatárolása,
3. Beszivárgás meghatározása egydimenziós hidrológiai modellek segítségével,
4. Talajvíz eloszlás meghatározása numerikus vízföldtani modellek segítségével.

Vizsgálataink során területileg interpolált klímaméterek napi felbontású id sorait használtuk, melyeket a CARPATCLIM-Hu Közép-Európai adatbázisból, illetve az ALADIN regionális klímamodell kimeneteiből nyertünk ki. A klímazónákat a Thorntwaite klímazóna beosztás alapján állítottuk el. A beszivárgási zónákat a geológia, területhasználat és lejt szög alapján határoztuk le. A víztükör eloszlását a MODFLOW numerikus kóddal szimuláltuk.

A projekt során a talajvíz tükröt az 1961–1965, 2005–2009, 1961–1990, 2021–2050, 2071–2100 id - intervallumokra, azok átlagolt klímaméterei alapján számítottuk.

A múltbeli talajvíz eloszlásokat mért bemenetek alapján határoztuk meg. Az elrejelzéseink az Országos Meteorológiai Szolgálat által szolgáltatott ALADIN klímamodellek eredményei (Illy *et al.*, 2015) alapján lettek szimulálva. A klímamodellek bizonytalanságai miatt megjelennek az elrejelzett beszivárgás és talajvíz eloszlásokban, ezért azok tájékoztató jellegűek.

A modellezés során feltételeztük, hogy a hozzáférhető adatsorok kezdeti 1961–1965-ös id szakában a talajvíz kvázi természetes egyensúlyi állapotban volt, ezért a bányászati vízszint süllyesztések illetve ivóvíz kitermelések hatásait ebben az id szakban elhanyagolhatónak tekintettük. A modellt erre a nyugalmi id szakra kalibráltuk, és az elrejelzések során ezen kalibrált modell paramétereit alkalmaztuk. Az elrejelzések a klímaváltozás hatására elálló hipotetikus

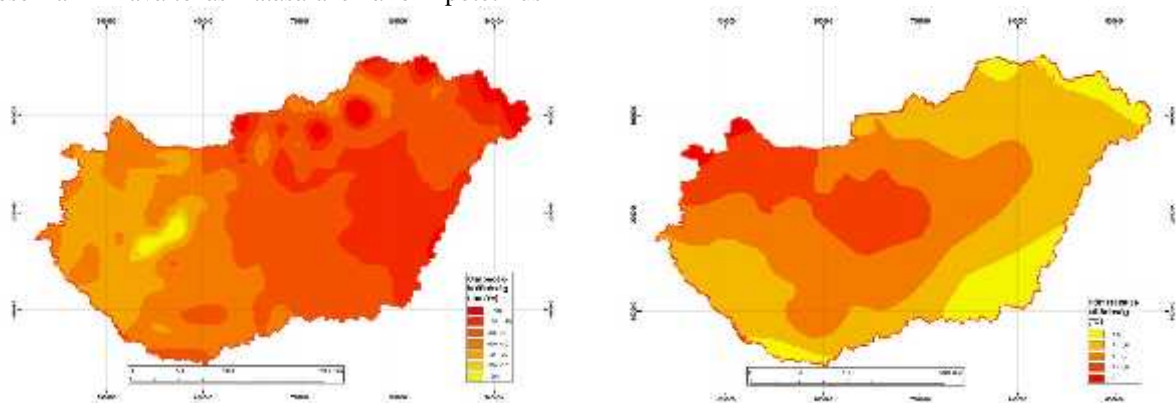
vízszinteket mutatják, melyek nem tartalmazzák sem a jelenlegi, sem pedig a potenciális jövőbeni víztermelések depressziós hatásait.

KLÍMAADATOK

A jelen tanulmányban a múltbeli klimatikus viszonyok jellemzéséhez a CarpatClim-Hu (Lakatos *et al.*, 2013) adatbázis szolgáltatotta a f bemeneti adatokat. A CarpatClim-Hu egy homogenizált raszteres adatbázis, amelyet a Kárpát-medence klímaállomásainak adataiból állítottak el interpolációval. Az adatbázishoz 258 klímaállomás és 727 csapadékmér állomás adatát használták fel. Magyarország területére ebből 137 klímaállomás és 176 csapadékmér állomás esik. Az adatbázis számos alapvető klímaméter és klímaindikátor 0,1 fokos (mintegy 10×10 km) felbontású homogenizált adathálóját tartalmazza napi, havi és éves felbontásban 1961-től 2010-ig.

A jövőbeni klímaviszonyok jellemzéséhez az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) által elállított ALADIN regionális klímamodell (Illy *et al.*, 2015) eredményeit használtuk fel. Az ALADIN regionális klímamodell bemenetét az ARPEGE-Climate globális általános cirkulációs modell adja, ami a Météo-France modelltje. A modell hibrid koordinátarendszert alkalmaz és 31 vertikális szintet különít el. Az ALADIN modell szimulációkban fontos szerepe van a sugárzási, felhőcsapadék-turbulencia és a konvektív sémáknak. A klíma projekciók az SRES A1B emissziós forgatókönyv (Nakicenovic *et al.*, 2000) szerint, 10 km-es felbontással készültek.

A modellezett klímaméterek alapján 3 db 30 éves id intervallumot (1961–1990 (2021–2050 (2071–2100) vizsgáltunk. A klímamodell elrejelzések harminc éves átlagai alapján a vizsgált 110 éves id szak során az egész ország területén az átlagos évi csapadékösszeg 20–100 mm-es csökkenése, és az éves átlag hőmérséklet több, mint 3 °C-os növekedése várható (1. ábra).



1. ábra. A 2071–2100 és 1961–1990 szimulációs id szakok csapadék és hőmérséklet eloszlásának különbségtérképe. Készült az ALADIN klímamodell kimeneti adatainak felhasználásával

Figure 1. Rainfall and temperature differences between 2100–2071 and 1961–1965 periods based on ALADIN simulation results.

KLÍMAZÓNÁK LEHATÁROLÁSA

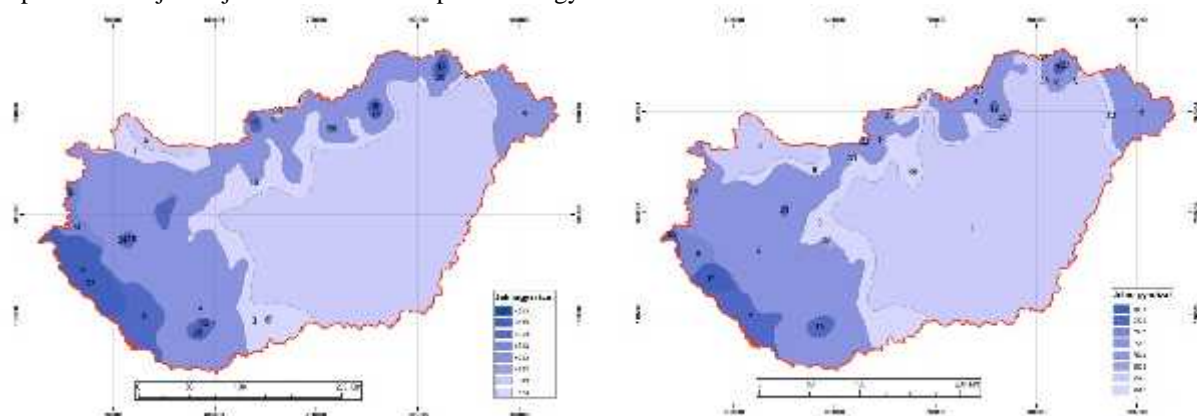
A klímazónák lehatárolásának célja olyan elemi egységek el állítása volt, amelyeken belül a klimatikus viszonyokat homogénnek feltételezhetjük. A beszivárgást ezen homogén egységekre egyenként, egydimenziós hidrológiai vízmérleg modellekkel végeztük el.

A nemzetközileg elfogadott biofizikai klímaosztályozási módszerek áttekintése után a Thornthwaite (1948) módszert értékeltük a vizsgálataink céljára alkalmasnak. Thornthwaite módszerét más módszerekkel összehasonlítva *Szelepcsényi et al.* (2009) elemezték. E vizsgálatok alapján bebizonyosodott, hogy Thornthwaite módszere alkalmas Magyarország mezolépték klimatikus jellemzésére. Thornthwaite módszere a talaj és a növényzet vízforgalmát használja fel klímaindikátorként kifejezhető hidrofizikai indexek formájában. A modell fizikai jellegét a Potenciális Evapotranspiráció (PET) és egy egyszerű „tartály” modell alkalmazása biztosítja, míg biológiai jellegét a hasznos vízkészlet alkalmazása adja. Az Ács és Breuer (2013) által ismertetett metodológiát alkalmaztuk a Thornthwaite klíma zónák számítása során, melyek saját készítésű szkriptekkel automatizáltunk.

A Thornthwaite módszer a klíma típusokat klímaképletek formájában jellemzi. A klímaképleteket négy

betű alkotja, melyeket a jelen tanulmányban négyjegyű számok helyiértékeivel helyettesítettünk a könnyebb azonosíthatóság miatt. Az eredeti klímaképletben az első betű (ezres helyiérték) egy nedvességi állapotot jellemző klimatikus index (I_m), a második betű (százasként helyiérték) a potenciális evapotranspiráció (PET), a harmadik betű (tízes helyiérték) a víztöbblettel és a vízhiánnyal arányos nedvességi (I_a) és szárazsági index (I_h), míg a negyedik betű (egyes helyiérték) a nyári és évi PET értékek aránya határozza meg. A klímaképlet első két betűje az évi, míg az utolsó két betűje az évszakos vízmérleg jellemzőkre utalnak. Az alkalmazott klímakódok az Ács és Breuer (2013, pp. 54–55) által közölt klímaképleteknek az adott helyiértékű számokkal való behelyettesítése alapján azonosíthatók.

A klímazónákat a 1961–1990, 1981–2010, 2021–2050, 2071–2100 időszakokra határoztuk meg átlagolt havi klímaadatok felhasználásával. A számítások grid alapú eljárással történtek, a végső zónaeloszlás vektoros formába lett átalakítva. A beszivárgást minden szimulációs időszakra és beszivárgási zónára az időben ahhoz illeszkedő klímazóna beosztás felhasználásával számítottuk ki. A CarpatClim-Hu és ALADIN klímaparaméter eloszlásokból számított klímazóna beosztásokat a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. Az 1961–1990 és az 1981–2010 időszakokra átlagolt CarpatClim-Hu klímaparaméterek alapján meghatározott Thornthwaite klímazónák eloszlásai

Figure 2. Climate classification according to Thornthwaite method for the periods of 1961–1990 and 1981–2010 based on CarpatClim-Hu data.

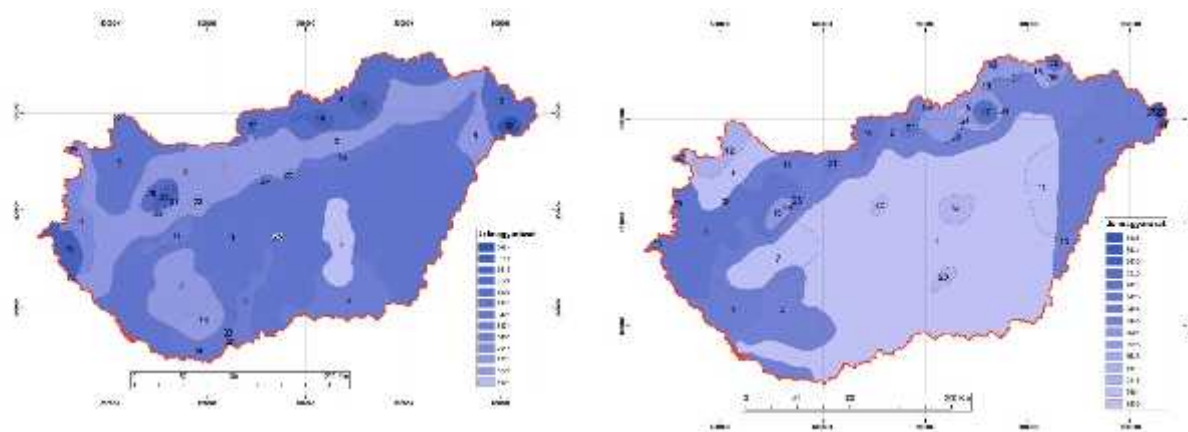
Megjegyzés: A jelkulcs az alkalmazott klímakódokat, míg a számok a klímapoligonok sorszámaát mutatja.

Note: The legend indicates climate codes, while numbers indicate polygon ID's.

Látható, hogy míg a mért adatok alapján meghatározott klímazónák viszonylag kismérvű — és elsősorban a hegyvidéki területekre korlátozódó — eltolódást mutatnak, a klímamodellek alapján szerkesztett klímazónák ettől jelentősen eltérő változásokat jósolnak. Tekintve azonban, hogy a klímamodellek jelentősen bizonytalansággal terheltek, a mért és modellezett adatok alapján lehatárolt klímazónák nem összehasonlíthatóak egymással.

BESZIVÁRGÁSI ZÓNÁK LEHATÁROLÁSA

A jelen tanulmányban definiált beszivárgási zónák olyan vízföldtani egységek, melyeken belül a beszivárgási viszonyok nem mutatnak jelentős változékonyságot. A SWAT (*Neitsch et al.*, 2002) modellezési nomenklátúra ezeket az egységeket „Hydrological Response Unit”-ként definiálja. A beszivárgási zónákat négy adatréteg (felszíni geológia, területhasználat, lejtő szög, klímátípus) szuperpozíciójaként határoztuk meg.



3. ábra. Az 2021–2050 és az 2071–2100 id szakokra átlagolt ALADIN klímaparaméterek alapján meghatározott Thornthwaite klímazónák eloszlásai

Figure 3. Climate classification according to Thornthwaite method for the periods of 2021–2050 and 2071–2100 based on ALADIN model outputs.

Megjegyzés: A jelkulcs az alkalmazott klímakódokat, míg a számok a klímapoligonok sorszámaát mutatja
Note: The legend indicates climate codes, while numbers indicate polygon ID's.

A modellezéshez használt területhasználati beosztást az Európai CORINE (EEA, 2006) adatbázis alapján állítottuk el. A projekt igényeinek megfelelően a nagyszámú CORINE kategóriát összevonás után hat osztályba soroltuk be úgy, mint lakott területek (1), szántó (2), legel (3), gyümölcsös (4), erd (5), víztestek (6).

A geológiai réteghez a MÁFI fedett földtani térképét használtuk fel. A felszíni formációkat hat litológiai típusba soroltuk be, úgymint hasadozott k zetek (10), dolomit (20), mészk (30), finom porózus üledékek (40), durva porózus üledékek (50), felszíni vizek (60).

A lejt szög kategóriákat az 50 méteres felbontású Digitális Terepmodell alapján határoztuk meg (HM Zrínyi 2014). Két lejt kategóriát különítettünk el. A 0–4,99% lejt szög területeket lapos területnek (100), az 5%-nál nagyobb lejt szög területeket lejt nek (200) soroltuk be.

A klímátípusokat az el z fejezetben tárgyalt módon, a Thornthwaite módszert alkalmazva határoztuk meg. A fenti adatrétegek szuperpozíciójaként el állított beszivárgási zóna térképet a 4. ábra szemlélteti. A beszivárgási zónákat ötjegy azonosítókkal láttuk el, ahol az els és második tag a klímazónát, a harmadik a lejt kategóriát, negyedik a geológiát, az ötödik a területhasználatot jelzi. A beszivárgási poligonok nagy száma miatt a 4. ábra csak a poligonok térbeli kiterjedését mutatja, a jelkulcs szemléltetésére a jelen keretek között nincs lehet ség, azokat Kovács *et al.* 2015 tartalmazza.

BESZIVÁRGÁS SZÁMÍTÁS

A talajvíz szintek numerikus modellezéséhez szükséges beszivárgási intenzitásokat egydimenziós vízmérleg modellek segítségével számítottuk ki minden egyes beszivárgási zóna típusra. A projekt során a

HELP modellt (Schroeder *et al.*, 1994) alkalmaztuk, mely módszer jól ismert (Gogolev, 2002; Jyrkama and Sykes, 2007), és el z leg már sikerrel alkalmazták hazai területeken beszivárgás számítás céljára. A HELP modell kimenetei könnyen alkalmazhatóak MODFLOW modell környezetben, amit a víztükör numerikus el állítására használtunk.

A HELP (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) egy numerikus egydimenziós modell, amit az USA Környezetvédelmi Hivatala fejlesztett ki hulladéklerakók szigetelésének a méretezésére. A modell kit n en alkalmas bármilyen talajprofil dinamikus vízmérlegének a számítására, így gyakran alkalmazzák klímaviszonyok hatásának vizsgálatára.

A modell napi h mérséklet és csapadék, havi besugárzás és, fél éves felbontású szélsőérték id sorokat használ. Ezeket az adatokat szkriptek segítségével nyertük ki a CarpatClim-Hu és ALADIN adatbázisokból a Thornthwaite klímazónákra, és el állítottuk a HELP számára szükséges bemeneti állományokat (input fájlokat).

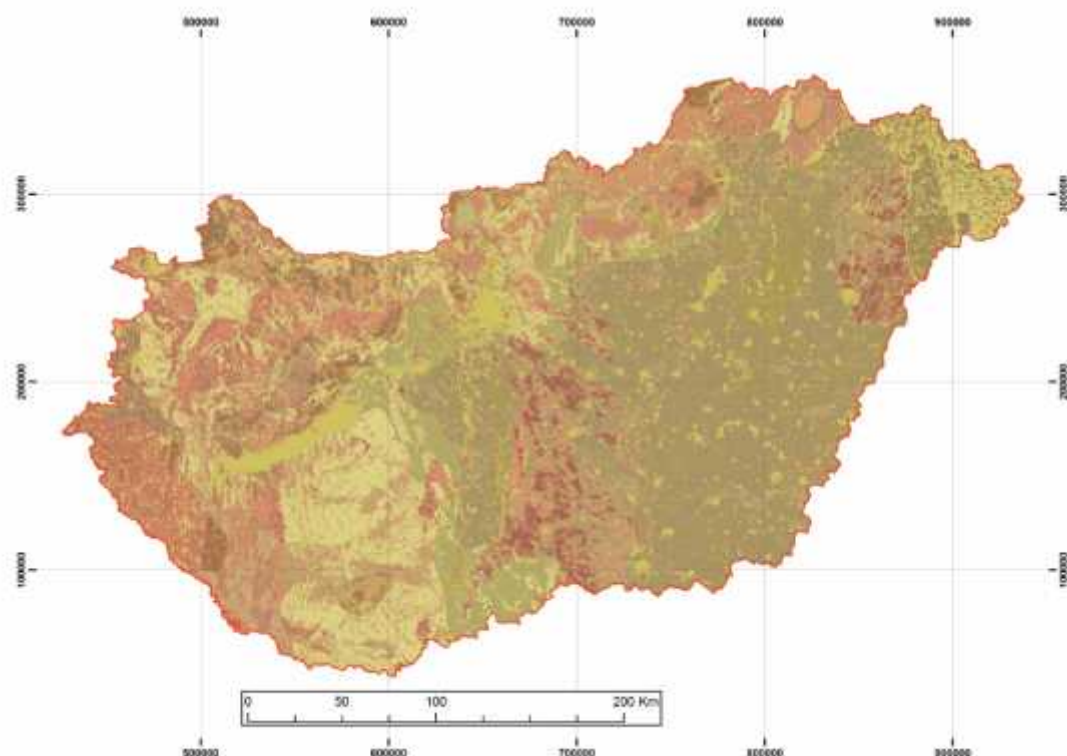
A klímparamétereken kívül a HELP modellhez szükség van talajprofilok definiálására, amikre a modell egydimenziós tranziens vízmérleget számít. A beszivárgási zónák lehatárolásához használt földtani kategóriákhoz típusprofilokat rendeltünk, melyeket mintaterületeken gy jtött szemeloszlási adatok alapján tipizáltunk.

A profilok vastagságát – a talajvíz átlagos mélységének figyelembe vételével – három méterben határoztuk meg. Mivel az alkalmazott három méteres profilokon belül elhanyagolható vertikális litológiai változékonyságot tapasztaltunk, homogén profilokat alkalmaztunk a modellezés során, melyek tranziens hidraulikai ekvivalenciáját érzékenység vizsgálatokkal igazoltuk. A szimulált beszivárgási id sorokat megfigyel kutak vízszint id soraival hasonlítottuk össze,

és a talajprofilok paramétereit ezek alapján valamint mért és irodalmi beszivárgás adatokhoz „kalibráltuk”.

A felszínborítottság és a lejt szög hatását összevontan a „runoff curve number” (CN) alkalmazásával

reprezentáltuk. A CN szám egy empirikus hidrológiai tényező, a direkt lefolyás meghatározására. Az alkalmazott hidraulikai paramétereket az 1. táblázat tartalmazza.



4. ábra. Beszivárgási zónák térképe.

Figure 4. Map of recharge zones.

1. táblázat. A beszivárgás modellezés során alkalmazott talajprofilok hidraulikai paramétereit

Table 1. Adjusted hydraulic parameters applied for different soil types throughout the HELP simulation of recharge rates.

Hidraulikai paraméterek	Profil típusa				Mértékegység
	Finom porózus	Durva porózus	Karszt	Hasadozott	
Porozitás	0,463	0,430	0,437	0,380	vol/vol
Szántóföldi kapacitás	0,232	0,200	0,052	0,200	vol/vol
Hervadáspon	0,116	0,0825	0,024	0,033	vol/vol
Szivárgási tényező	5	1	500	8	cm/day
Evapotranspirációs zóna mélysége	115	125	125	125	cm

A beszivárgás számítását a teljes CarpatClim-Hu és ALADIN adatsorra elvégeztük, majd a vizsgált öt és harminc éves időszakokra átlagoltuk a szimulált napi beszivárgás adatokat. A referencia időszakra (1961–1965) átlagolt beszivárgás eloszlást az 5. ábra szemlélteti.

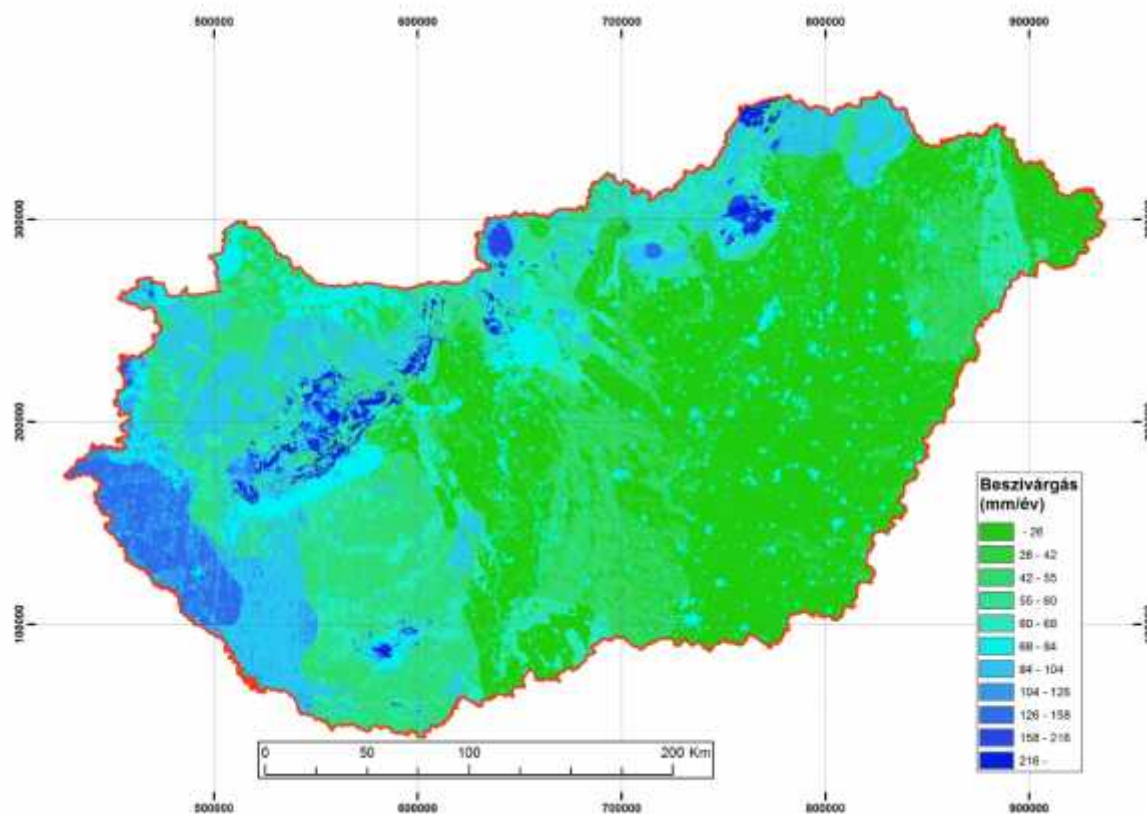
VÍZFÖLDTANI MODELLEZÉS

A projekt keretei között elvégzett vízföldtani modellezés elsődleges célja a talajvíz szintek elrejelzésén keresztül a sekély víztestek klímaérzékenysége jellemzése volt. A klímaparaméterek változása a beszivárgás változásán keresztül a talajvíz szintjének megváltozásához vezethet, ami mind ökológiai mind pedig gazdasági szempontból jelentős változásokat idézhet elő. A jelen tanulmányban minden – közvetlen beszivárgásnak kitett – szabadfelszín sekély felszín

alatti vizet talajvíznek nevezzük, függetlenül az áramlási közeg milyenségét (talaj, üledék, víztartó kőzet).

A talajvíz tükör kvázi természetes állapotának — a rendelkezésre álló értékelhető kalibrációs adatokat és a bányászati aktivitást figyelembe véve — az 1961–1965-ös időszakot tekintettük. Feltételeztük, hogy a mesterséges hatások, úgy, mint a bányászati vízszint

süllyesztések illetve egyéb vízkitermelések hatása ebben az időszakban elhanyagolhatónak volt tekinthető. A modell kalibrációt erre az időszakra végeztük el, és a jövőbeni forgatókönyveket ezen paraméter eloszlás mellett szimuláltuk.



5. ábra. Szimulált beszivárgás eloszlás az 1961–1965 referencia időszakra átlagolva
Figure 5. Simulated average recharge distribution for the 1961-1965 reference period

A vízszintek elrejelzésére permanens modelleket alkalmaztunk, melyeket többéves átlagos beszivárgási viszonyok mellett szimuláltunk, feltételezve, hogy a szimulált időszak során kvázi egyensúlyi állapot alakul ki.

A modell peremfeltételeit a felszíni vízfolyások („RIVER” peremfeltétel) és megcsapoló zónák („DRAIN” peremfeltétel) képezték. A mesterséges vízkitermelések nem szerepelnek a modellben, mivel annak célja a klímaváltozás közvetlen hatásának vizsgálata volt. Emiatt az elrejelzett víztükrök hipotetikus eloszlások, melyek nem tartalmazzák a mesterséges vízkitermelések hatásait.

Az országos talajvíz modell elállításához a MODFLOW modellezési kódot használtuk, melyet Visual Modflow 4.6 szoftver környezetben futtattunk (Waterloo Hydrogeologic Inc. 2005). A MODFLOW egy nemzetközileg elfogadott, és széles körben alkalmazott moduláris program, amelyik telített vízáramlás modellezésére alkalmas három dimenzióban. A véges differenciás diszkretizáció és a könnyű kezelhetőség

miatt, tekintve, hogy a felhasznált bemeneti adatok grid típusúak, a MODFLOW megfelel nek bizonyult a feladat végrehajtásához.

A numerikus stabilitás és elfogadható modell futtató idő biztosítása végett az országot két modellterületre (Ny, K) osztottuk, melyek határát a Duna vonalánál jelöltük ki. A modell célja a sekély felszín alatti vizek szimulációja volt, ezért a modellezést kétdimenziós egyrétegű modellel végeztük el. A modell országos léptékű, melyhez 250×250 méteres cellaméretet alkalmaztunk.

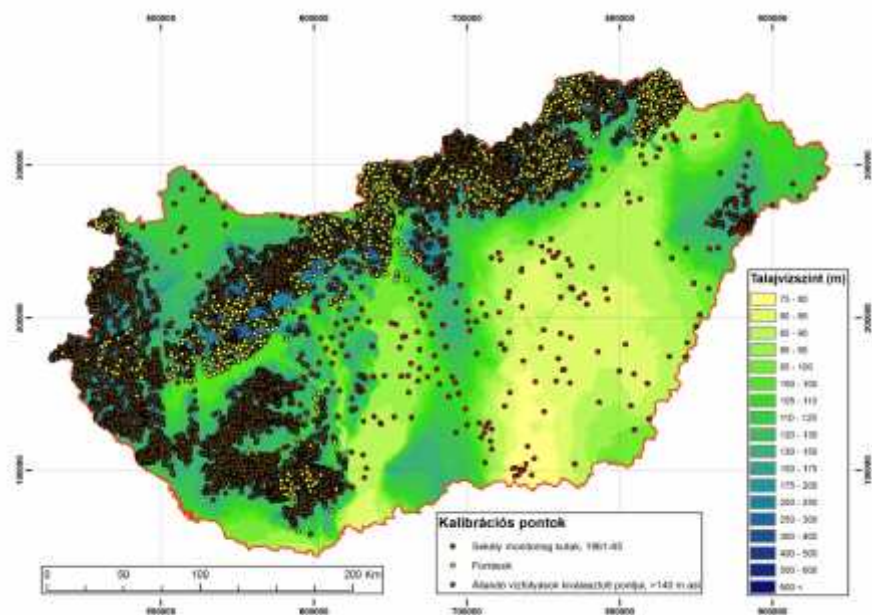
A modell kétdimenziós permanens jellegű, kifelé egy irányban a transzmisszivitás eloszlást kalibráltuk. Tekintve, hogy a sekély víztestek vastagsága bizonytalan, a transzmisszivitás értékek első sorban kalibrációs paraméternek tekinthetők, semmint mérhető terepi paraméternek. A transzmisszivitás zónák meghatározásakor a víztesteket nagyobb egységekké vontuk össze, melyeket azonos hidraulikai paraméterrel láttunk el.

A modellt a sekély monitoring kutak kalibrációs id. szakra átlagolt vízszintjeihez, a forrásszintekhez és a felszíni vizek átlagos vízállásához kalibráltuk. A kalibrációt a PEST autokalibrációs kóddal végeztük el. A PEST (WNC, 2004) egy nem-lineáris paraméterbecsl. kód, amely a Gauss-Marquardt-Levenberg módszert alkalmazza a mért és számított értékek közötti eltérés minimalizálására.

A nemzetközi modellezési irányelvek (Barnett *et al.*, 2012) regionális léptékű modellek esetén a szimu-

láció normált négyzetes középérték hibájára (SRMS) 10 %-os hibahatárt javasolnak. Az országos talajvíz modell 3,3 %-os SRMS hibája tehát elfogadható modell pontosságot jelez.

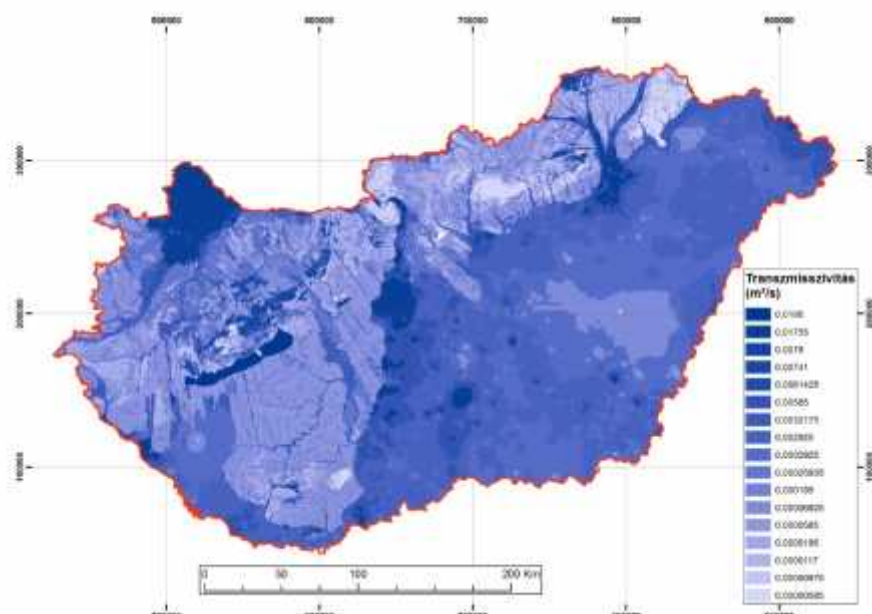
A kalibrációs adatpontok térbeli eloszlását a 6. ábra mutatja. Amint látható, az alföldi területeken jóval kevesebb adatpont található, mint a hegyvidéki régiókban, ami — a kis gradiens mellett — a szimuláció nagyobb bizonytalanságát vonja maga után.



6. ábra. A modellezés során alkalmazott kalibrációs adatok elhelyezkedése.

Figure 6. Map of calibration data points

A kalibrált transzmisszivitás eloszlást a 7. ábra mutatja. A modell el. rejelzések során a kalibrált paraméter eloszlást alkalmaztuk.



7. ábra. Kalibrált transzmisszivitás eloszlás.

Figure 7. Calibrated transmissivity distribution

Mivel a projekt elsődleges célja a módszertan kidolgozása és demonstrációja volt, a modellezés során elsődlegesen a módszertan következetes alkalmazására törekedtünk. A jövőbeni beszivárgás eloszlások klímamodell adatokból lettek számítva, melyek hibáit öröklődnek a vízföldtani modell eredményeibe, így a szimulált eloszlások országos léptékű, tájékoztató jellegű eloszlásnak tekintendők.

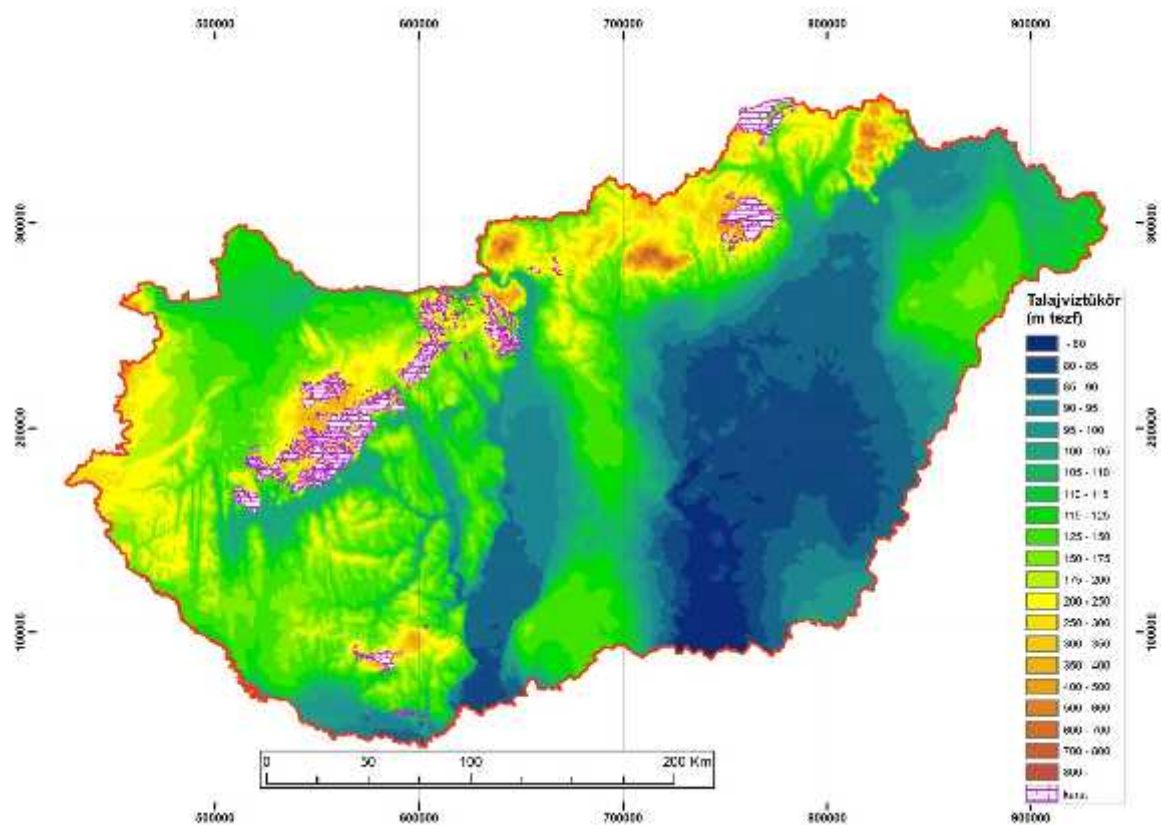
EREDMÉNYEK

A talajvíz szinteket a 1961–1965 és 2005–2009 időszakokra mért (CarpatClim-Hu), valamint az 1961–1990 (2021–2050, és 2071–2100) időszakokra számított (ALADIN) klímaméterek alapján modellezett beszivárgás eloszlások alkalmazásával szimuláltuk.

A kalibrációs időszakra (1961–1965) számított talajvíz tükör eloszlást a 8. ábra, a telítetlen zóna számított vastagságát pedig a 9. ábra mutatja.

A klímaváltozás hatását a különböző szimulációs időszakokhoz tartozó talajvíz szintek különbsége jelzi. Az 1961–1965 és 2005–2009 időszakok különbség térképe a talajvíz szintek jelentős csökkenését jelzi a hegyvidéki területeken (Északi-középhegység, Dunántúli-középhegység, Alpokalja). A szimulált vízszintek hipotetikus eloszlások, melyek nem tartalmazzák a mesterséges hatásokat, kizárólag a klímaváltozás talajvízre gyakorolt közvetlen hatását szemléltetik.

A klímamodell kimenetek alapján szimulált talajvíz szintekből számított különbség térképek hasonló mértékű vízszint-csökkenéseket jeleznek az elkövetkező évtizedekre, habár ezek eloszlása némileg eltér. A legjelentősebb csökkenések az Északi-középhegység, Dunántúli-középhegység és Mecsek területén várhatók.

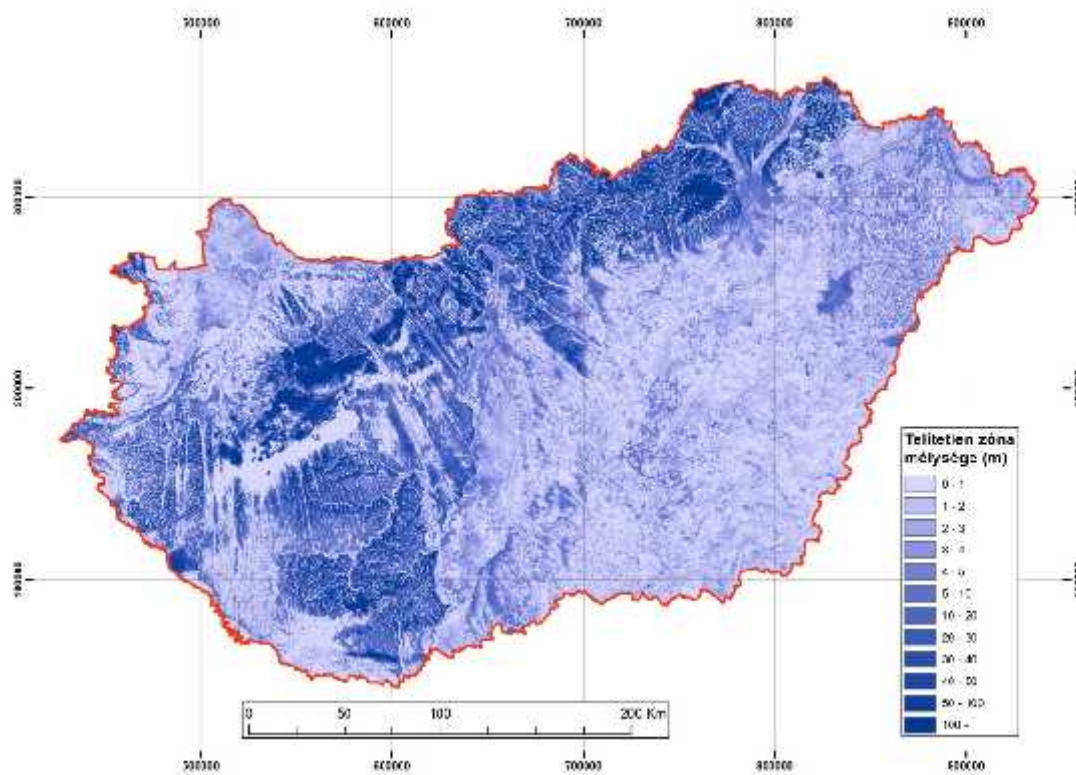


8. ábra. Az 1961–1965 referencia időszakra számított talajvíz tükör eloszlás

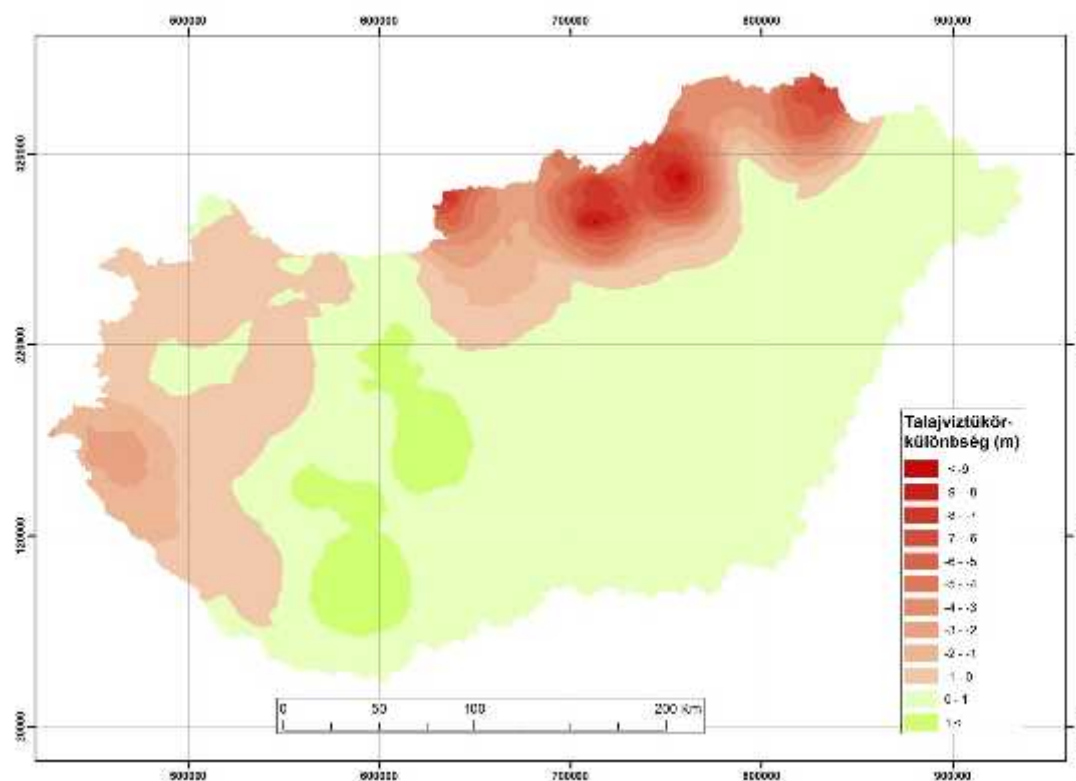
Figure 8. Simulated groundwater table distribution for 1961-1965 reference conditions.

Megjegyzés: A sraffozott zónák fedetlen karbonátos víztartókat jelölnek

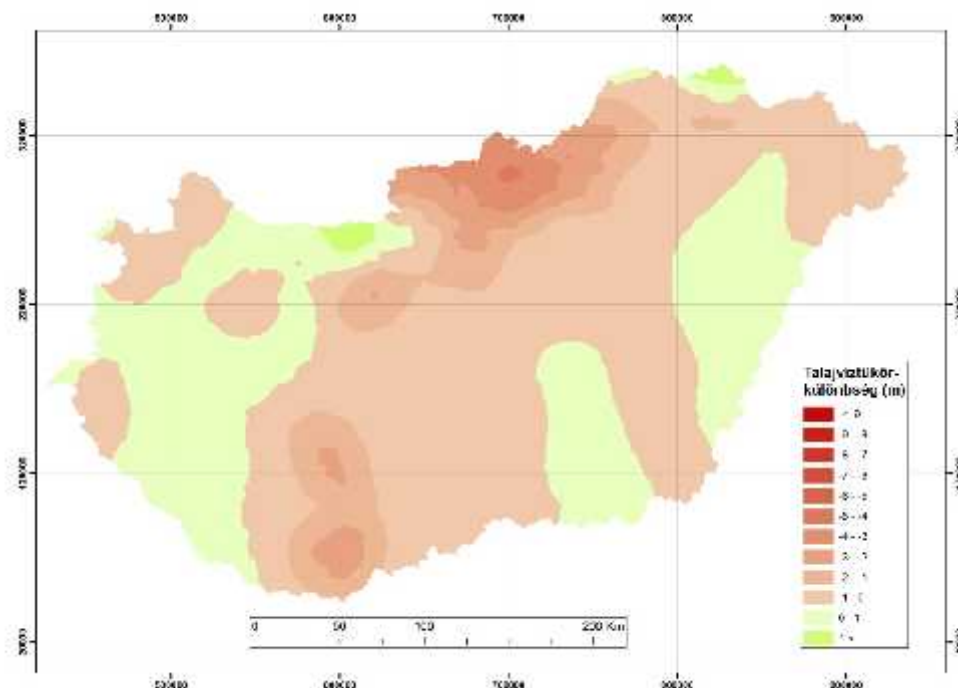
Note: Striped areas indicate unconfined carbonate aquifers



9. ábra. Az 1961–1965 referencia id. szakra számított talajvíz mélység térkép
Figure 9. Simulated unsaturated zone thickness map for 1961–1965 reference conditions



10. ábra. Az 2005–2009 és 1961–1965 id. szakok CarpatClim-Hu adatok alapján számított talajvíz szintjeinek különbség térképe
Figure 10. Groundwater table difference between the 2005–2009 and 1961–1965 simulation periods based on CarpatClim-Hu data



11. ábra. Az 2071–2100 és 1961–1990 id szakok ALADIN klímamodell kimenetek alapján számított talajvíz szintjeinek különbség térképe

Figure 11. Groundwater table difference between the 2005-2009 and 1961-1965 simulation periods based on ALADIN climate model outputs

ÖSSZEFOGLALÁS

A talajvíz országos eloszlásának különböz klíma-viszonyok mellett történ meghatározásához dinamikus, moduláris módszert dolgoztunk ki, amelyik az alábbi komponenseket tartalmazza:

1. Klímazónák meghatározása klíma paraméterek országos eloszlása alapján,
2. Beszivárgási zónák lehatárolása,
3. Beszivárgás meghatározása egydimenziós hidrológiai modellek segítségével,
4. Talajvíz eloszlás meghatározása numerikus vízföldtani modellek segítségével.

Vizsgálataink során interpolált napi klímamodell kimeneteket használtunk, melyeket a CarpatClim-Hu közép-európai adatbázisból, illetve az ALADIN regionális klímamodell kimen adataiból nyertünk. A klímazónákat a Thornthwaite klímazóna beosztás alapján állítottuk el . A beszivárgási zónákat a geológia, területhasználás és lejt szög alapján határoztuk le. A víztükör eloszlását a MODFLOW numerikus kóddal modelleztük.

A kidolgozott módszertan kvantitatív kapcsolatot teremt a klímamodell kimenetek, a beszivárgás és a talajvíz tükör között, melyet sikeresen alkalmaztunk a klímaérzékenység jellemzésére.

A számított beszivárgások változása alapján elmondható, hogy a beszivárgás több tíz mm/éves csökkenése követhet nyomon a hegyvidéki területeken (Alpokalja, Északi-középhegység és Dunántúli-

középhegység) a hatvanas évektől a kétezres évek végéig.

Az ALADIN modellkimenetek alapján számított beszivárgások változása ugyancsak több tíz mm/éves csökkenést jósol a század hátralévő évtizedeinek időtartamára a hegyvidéki területeken, úgy, mint a Mecsek, Északi-középhegység és Dunántúli-középhegység területén.

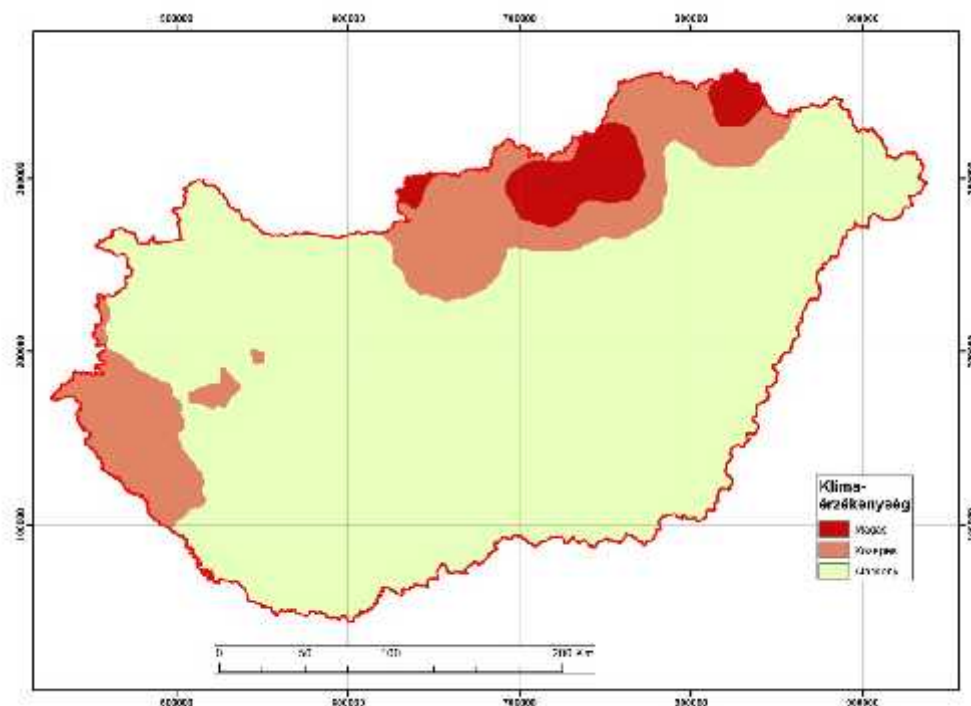
A klímaváltozás hatását a különböz szimulációs időszakokhoz tartozó talajvíz szintek különbsége szemlélteti. A szimulációk az elmúlt évtizedekben a talajvíz szintek jelentős klíma eredetű csökkenését jelzik a hegyvidéki területeken (Északi-középhegység, Dunántúli-középhegység, Alpokalja). A csökkenés a hegyperemi régiókban kevésbé markáns.

A klímamodell kimenetek alapján számított különbség térképek hasonló mértékű vízszint csökkenéseket jeleznek az elkövetkező évtizedekre, habár ezek eloszlása némileg eltér . A legjelentősebb csökkenések az Északi-középhegység, Dunántúli-középhegység és Mecsek területén várhatók.

Az ország talajvíztartóit érzékenységi osztályokba soroltuk be annak alapján, hogy a modellezett talajvíz szintek milyen mértékben reagálnak a klímaváltozásra. Az érzékenységi térképet el állítottuk mind a mért adatokon alapuló szimulációk eredményei (12. ábra), mind pedig a klímamodell kimenetek alapján el állított szimulációk eredményei alapján (13. ábra).

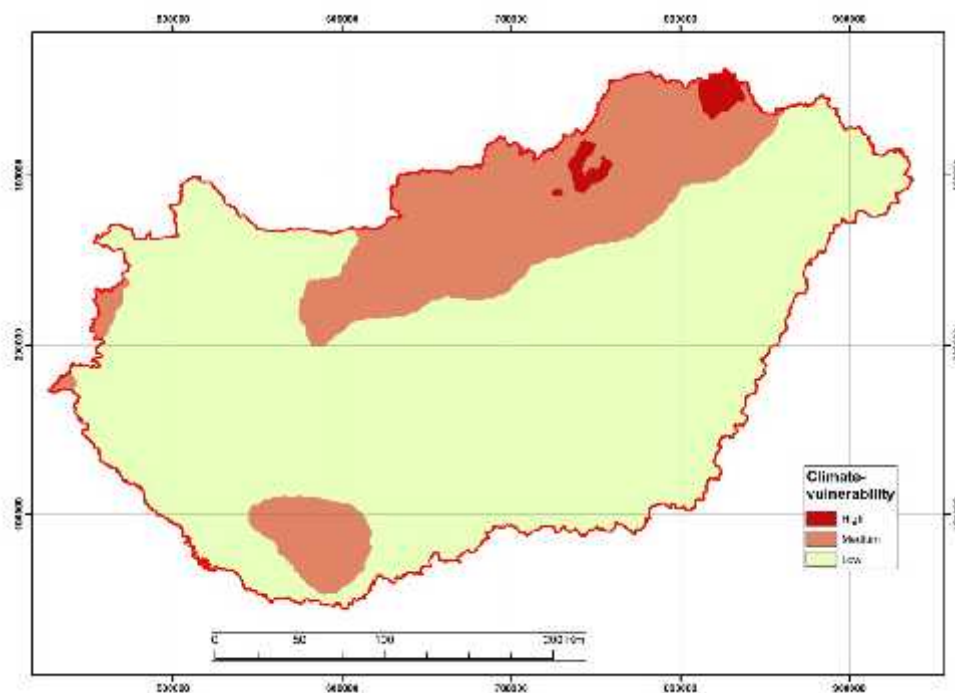
Az érzékenységi térképek tanúsága szerint a hegyvidéki területek (Északi-középhegység és Dunántúli-középhegység) erősen klíma érzékenyek, míg ezeknek hegylábi területei közepes érzékenységgel rendelkeznek.

Az Alpokalja és a Mecsek klímaérzékenységét a kétféle szimuláció eltérően jelzi, ezért ezek besorolása bizonytalan.



12. ábra. Magyarország sekély felszín alatti vizeinek klímaérzékenységi térképe a 2005–2009 és 1961–1965 időszakok CarpatClim-Hu adatai alapján szimulálva

Figure 12. Map of climate sensitivity of shallow groundwater resources of Hungary based on simulations of the 2005–2009 and 1961–1965 conditions (calculated from CarpatClim-Hu data)



13. ábra. Magyarország sekély felszín alatti vizeinek klímaérzékenységi térképe a 2071–2100 és 1961–1990 időszakok ALADIN modell eredményei alapján szimulálva.

Figure 13. Map of climate sensitivity of shallow groundwater resources of Hungary based on simulations of the 2005–2009 and 1961–1965 conditions (calculated from ALADIN climate model outputs)

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A NATÉR projekt Izland, Liechtenstein és Norvégia EGT-támogatásokon és a REC-en keresztül nyújtott anyagi hozzájárulásával valósul meg. Jelen publikáció tartalmáért a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet felelős. Köszönjük Varga Bálint áldozatkész térinformatikai munkáját, valamint Kun Éva és Kerékgyártó Tamás segítségét.

IRODALOM

Ács, F. és Breuer, H. (2013). Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest. 131 pp.

Barnett B., Townley L. R., Post V., Evans R. E., Hunt R. J., Peeters L., Richardson S., Werner A. D., Knapp A. and Boronkay A. (2012). Australian groundwater modelling guidelines. *Waterlines Report Series No. 82*. National Water Commission, ISBN: 978-1-921853-91-3

European Environment Agency (2006). Corine Land Cover raster data. Downloaded from the world wide web at <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster>

Gogolev, M. I. (2002). Assessing groundwater recharge with two unsaturated zone modeling technologies. *Environmental Geology*, **42**, pp. 48–258.

Illy, T., Sábitz, J., Szabó, P., Szépszó G. és Zsebeházi, G. (2015). A klímamodellekből levezethető indikátorok alkalmazási lehetőségei. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 2015. június.

Jyrkama M.I., Sykes J.F. (2007). The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the Grand River watershed (Ontario). *Journal of Hydrology*, **338**, pp. 237–250.

Kovács, A., Szűcs, T., Tóth, Gy., Marton, A., Kun, É., Kerékgyártó, T. (2015). A talajvíz klímaérzékenységeinek modellezése a NATÉR projekt keretei között. NATÉR projektjelentés, MFGI, Budapest.

Lakatos, M., Szentimrey T., Bihari, Z., and Szalai S. (2013). Creation of a homogenized climate database for the Carpathian region by applying the MASH procedure and the preliminary analysis of the data. *Id járás, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, **117**(1), pp. 143–158.

Nakicenovic N, Swart R. (2000). Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, and New York, NY, USA.

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Srinivasan, R., Williams, J. R. (2002). *Soil & Water Assessment Tool. Grassland*. Soil & Water Research Laboratory, Temple, Texas.

Schroeder, P. R., Aziz, N. M. and Zappi, P. A. (1994). *The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model: User's Guide Version 3*. EPA/600/R-94/168a, U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development, Washington D.C.

Szelepcsényi Z., Breuer H., Ács F. és Kozma I. (2009). Biofizikai klímaklasszifikációk. 2. rész: magyarországi alkalmazások. *Léggör*, **54**(4), 18–24.

Thorntwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Review*, **38**, pp. 55–93.

Waterloo Hydrogeologic Inc. (2005). *Visual MODFLOW v.4.1 User's Manual 02/05*.

Watermark Numerical Computing Inc. (2004). PEST: Model Independent Parameter Estimation. User Manual: 5th Edition



DR. KOVÁCS ATTILA nemzetközileg elismert és idézett geológus és hidrogeológus, aki mind az alap kutatásban, mind pedig az iparban kiterjedt tapasztalatokkal rendelkezik. Több tucat nemzetközi publikáció szerzője, egyetemi óraadó. Fő kutatási területe a karszthidrogeológia és numerikus modellezés, valamint geotermia és a klímaváltozás vizsgálata. Emellett széleskörű tapasztalatokat szerzett a hidraulikai és transzportmodellezés, ivóvízbázis védelem, kármentesítés, bányászati hidrogeológia, geotechnika, radioaktív és kommunális hulladéklakók hidrogeológiai vizsgálata terén. 1998-ban végzett az ELTE geológus szakán, majd 2003-ban doktorált a Neuchateli Egyetemen, Svájcban. Több országban dolgozott (Magyarország, USA, Svájc, Új-Zéland, Ausztrália), és mint fő hidrogeológus mintegy félszáz ipari és kutatási projektben vett részt. Jelenleg a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, valamint az MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport munkatársa.

A Mura folyó kanyarulatvándorlásainak elemzése és hullámterének feliszapolódás vizsgálata 2 D modellezéssel

Engi Zsuzsanna.*, Tóth Gábor**, Somogyi Katalin*, Lanter Tamás*, Hercsel Róbert* és Bozzay Ferenc*

*Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 9700. Szombathely, Vörösmarty u. 2. (E-mail: engi.zsuzsanna@nyuduvizig.hu)

**Nyugat-magyarországi Egyetem, Természettudományi Kar, Földrajz és Környezettudományi Intézet, 9700.Szombathely, Károlyi G. tér 4. (E-mail: tothg@ttk.nyme.hu)

Kivonat

A tanulmányban GIS módszerekkel megközelít leg 250 évre visszamen leg rekonstruáltuk a Mura-folyó mederváltozását. Különböz korú sodorvonalak egymásra vetítésével vontunk le következtetéseket a meder fejl désér l. A módszer segítségével lehet vé vált az antropogén beavatkozások elkülönítése és korszakolása. Morfometriai paraméterek használatával a folyó és a meanderek hosszú távú fejl dését elemeztük. El re jeleztük a meanderek elmozdulását és átszakadását. A MIKE 21 FM programmal történ 2D hidraulikai modellezés árvízveszély térképei és az öreg történelmi térképek összehasonlítása és értékelése is megtörtént.

Kulcsszavak

Mura, MIKE 21, hidraulikai modellezés, ártér, hullámtér, meander, geomorfológia, morfometriai paraméterek

Analysis of meander migration and 2D modeling of the silting up processes of the Mura river's foreshore area

Abstract

By using GIS methods for approximately the past 250 years changes of the riverbed of the Mura River were reconstructed in the study. The main point of the method is that we draw conclusions for development of the riverbed by projecting the different age current lines on each other. Separation and periodization of the anthropogenic interventions is possible by using this method. Using morphometric parameters the long-term development of the river and the meanders were analysed. The meander movement and the cut-off are forecasted. Flood maps from MIKE 21 FM 2D hydraulic modelling and old historical maps were compared and evaluated.

Keywords

Mura, MIKE 21, hydraulic modeling, flood plain, meander, geomorphology, morphometrical parameters

BEVEZETÉS

Az utolsó évtizedek alatt bekövetkezett éghajlati változások a szélsőséges értékek megjelenését mutatják. Egyre gyakoribbak a nagyon száraz id szakok vagy a váratlanul bekövetkező és kiemelkedő vízállással vagy vízhozammal levonuló árvizek. Ezekben az esetekben a károk magasak, úgy az emberi élet, mint az anyagi javak tekintetében. Amikor bekövetkeznek, a társadalom figyelme rájuk irányul, azonban leggyakoribb válasz a helyreállítási feladatok elvégzésében nyilvánul meg. A költségek azonban n nek, mert a szélsőséges id járási esetek az utóbbi id ben egyre többször jelennek meg. Fel kell ismernünk, hogy a gazdaságos és hosszútávú megoldást a károk megelőzése jelenti. Ezért tehát az árterekkel való gazdálkodást kell el térbe helyezni, és azt vizsgálni, mi okozza az árterek, hullámterek levezető képességének csökkenését.

Napjainkban különböző kutatási ágazatok foglalkoznak az árterek hidrológiai, hidraulikai, geológiai, geomorfológiai fejl désével. Keresik a változások okát, visszatérnek a múltba és vizsgálják a folyók valamikori nyomvonalát, számítják régi lehetséges vízhozamát. A tudományágak más-más id távokat vizsgálnak és kutatási módszereik is különbözőek: folyamatok megfigyelése, mérések

adatainak értékelése és következtetések levonása, majd a legújabbak: a numerikus modellezések. A cél azonban minden esetben ugyanaz: valamilyen esemény jövőben bekövetkezésének el rejelzése, alátámasztása, magyarázása.

A történelem során nem számított ritka eseménynek a határmódosítás, amely azonban számunkra sok esetben a közös elven tervezett fejl dés adminisztratív akadályává vált. Ma már általánosan elfogadott gyakorlat, hogy a transznacionális vízgyjtőn folyó munkákat összehangolva kell elvégezni, mert ez a sikeres gazdálkodás egyik alapelve (Novak *et al.* 2010; Müller, Steinman, Novak, 2011; Brilly *et al.* 2011). Mindehhez nagyban hozzájárulnak a közös kutatási munkák, amelyekben a különböző tudományágak kutatási módszereinek szintézisét is alkalmazhatjuk.

A fent leírtak miatt felgyorsultak az ártéri és hullámtéri kutatások, amelyekkel, ha ismerjük a múltat, tervezhetővé válik a jövő. Kutatásunkhoz egy ilyen folyót választottunk, a Murát, amely több országon folyik keresztül, így több nemzetközi részvízgyjtővel rendelkezik. Azonban a kutatások tekintetében »mostohagyerek« sorsa volt. Az Osztrák-Magyar Monarchia idejében hosszú időn keresztül tartozott a határtérséghez, ezért az egységes elv

vízgazdálkodási fejlesztésével egyik tartomány/ország sem foglalkozott. A »vasfüggöny« ideje alatt ebbe a térségbe nem vagy csak nagyon kevés kutatás irányult. Lehet ennek gyakorlati indoka is: például akkoriban még nagyon nehéz volt a Murát térképészetileg feldolgozni, az ártérre pedig 2011-ig egyáltalán nem irányultak kutatások (Tóth *et al.* 2013). Kimondott nehézségekbe ütközik a terepi mérés olyan esetekben, amikor az államhatár a folyó tengelyében halad. Így például a kanyarok fejlésének méréséhez mindkét ország területén kellene összehangoltan mérni, ami az adminisztratív feltételek miatt nehézkes.

Ilyen szempontból a Mura általunk vizsgált szakaszára elmondható, hogy nem számít a jól megkutatott folyó szakaszok közé. Noha sok adatot tartalmaz az országos vízrajzi adatbázisunk, a mai modellezési adatigénynek ezek gyakran nem felelnek meg. A kutatás során ezekkel a hiányosságokkal szembesültünk.

Nagyon fontos tudatában lennünk annak, hogy hozzánk a Mura alsó szakasza tartozik. A folyó vízgyjtjén négy ország osztozik: Ausztria, Szlovénia, Horvátország és Magyarország. Azonban Magyarország vízrendszerre gyakorolt hatása mindössze az össz vízgyjt terület 15%-a. Minthogy a folyó határt képez, így a hullámtér is nemzetközileg osztott. Mindezek tükrében fontos ismernünk azt, milyen beavatkozások történnek a felvízi vízgyjt n és hogyan enyhíthetjük a beavatkozások hatásait.

Elzmények

A Mura vízgyjt általános leírását, és a hidrológiai, hidromorfológiai adatokat többen is feldolgozták, részletes leírás található a

Vízgyjt gazdálkodási Terv Mura Alegység tervében, a Nagyvízi Mederkezelési Terv Mura Tervegységében, a Mura folyó hidrológiai tanulmányban. A Mura árvizeivel részletesen foglalkozott többek között *Sekovani et al.* 2004; *Hornich et al.* 2004; *Novak*, 2004; *Hercsel*, 2008. Ezért csak az általános ismertetésre korlátozzuk a vízgyjt leírását és inkább a különböző ségeket hangsúlyozzuk ki.

A probléma megfogalmazása

A Mura folyó Ausztriában ered a Radstadt Tauern déli térségében, 1900 m tengerszint feletti magasságban. Hossza a magyar szakirodalom szerint 454 km. Több forrásból ered, melyek közül a legjelent sebb a 100 l/s hozamú Murursprung. St. Michael településnél válik meghatározóan folyó jelleg vé (*Mike*, 1991). A kis folyó magas hegységek völgyében folyik, Judenburg térségében szélesedik ki az ártere. Az osztrák szakasz hossza 323 km, majd határt képez Ausztria és Szlovénia között 34 km hosszan, utána »bels « Mura néven átszeli Szlovéniát 28 km szakaszon. Utána határt képez Szlovénia és Horvátország között 33 km hosszban. Az alsó 48 km-es szakaszon Horvátország és Magyarország között határfolyó, majd Légrad/ rtilos térségében ömlik a Drávába (*1. ábra*). A teljes vízgyjt terület nagysága magyar források szerint 14.304 km². Ebb l Magyarországhoz tartozik a vízgyjt terület 15%-a. A Mura forrása és a Drávába torkollása közötti magasság különbség 1764 m. Amikor a folyó elhagyja az osztrák vízgyjt területét, esése lecsökken. A folyóra jellemz a gyors vízállás növekedés, miközben apadása lassúbb folyamat.



1. ábra. A Mura vízgyjt területének domborzata és a magyar rész-vízgyjt
(Forrás: Árvízvédekezés és ... a magyar-szlovén határtérség vízfolyásain, 2012)
Figure 1. Relief of the Mura River Basin and the Hungarian sub-basin

A Mura fels szakaszán (Ausztria, Szlovénia) a múltbeli szabályozási munkák, antropogén beavatkozások következtében teljesen más típusú probléma adódik, mint a síkvidéki jelleg alsó szakaszon.

A Mura fels szakaszán az els szabályozási munkákat már a 18. században megkezdtek (Hochenburg szabályozás a Graz és Cven közötti

folyószakaszon). 26 db láncban m k d vízer m - ma már több van - kiépítésével Ausztriában a folyó gyors lefolyású, csatorna jelleg vé vált (*Kovács et al.*, 2004; *Balaži*, 2004). A természetes hordalékszállítás a fels és az alsó, síkvidéki jelleg folyószakasz között teljesen megsz nt, ami a meder morfológiai degradációját okozta és következményképpen a meder lemélyülését (*Hornich et al.*, 2004;

Novak, 2004). Az áramlás a f mederre koncentráldott, megsz nt a kapcsolat a mellékágakkal, következményként megn tt az áramlási sebesség a mederben. Régen a Mura vízhozamának 40%-a a f mederben, 40%-a a mellékágakban vonult le és 20% állóvíz volt (Novak, 2004). A vízer m vek kiépítése és üzemeltetése a hordalék természetes bevitelének illetve szállításának megsz nését okozta, elt nt a természetes hordalékszállítási ciklus. Ezzel együtt megsz ntek a zátony kialakulás természetes folyamatai és nem történtek jelent sebb hidromorfológiai változások. A szlovén-osztrák szakaszon a meder mélyülése átlagosan 1,2 m volt, de helyenként elérte a 2,28 m-t is (Globevnik és Mikoš, 2009).

A középs Mura szakaszon és a szlovén-horvát határszakaszon a meder nagyobb szélessége miatt a mederfenék eróziója kisebb mérték volt, a Mura folyó medermélyülése mindössze 30-40 cm-t tett ki. A radikális mederátvágások után jelentkez medermélyülés következményeként a talajvízszint lecsökkent. Miközben a mederben néhol a néhány méteres mélyülés sem volt ritka, a zátonyképz dés olyan helyeken kezd dött meg, ahol senki sem számított rá (Petkovšek és Mikoš, 2000; Hornich et al., 2004; Novak, 2004; Ulaga, 2005; Globevnik és Mikoš, 2009).

Mindeközben a Mura alsó, magyar-horvát határ szakszán teljesen más jelleg problémák adódtak. Miután aláírásra került Magyarország és Jugoszlávia között a vízgazdálkodási munkák megvalósításáról szóló Egyezmény, mindkét ország hatalmas er feszítéseket tett a közös Mura szakasz szabályozási tervének elkészítésére. Az 1959-ben kidolgozott fejlesztési tervben meghatározták a mértékadó vízhozamot: $Q_{100} = 1650 \text{ m}^3/\text{s}$. Az 1970-es években befejez dtek a töltéscéltések, a töltések közötti hullámtér 600-750 m szélesség vé vált. Megkezd dtek az akkori gazdasági politikának megfelel mez gazdasági fejlesztések (intenzív melioráció).

A folyó menti terek a holtágakkal lassan funkciójukat veszítették és a biodiverzitás megsz nt. Az olyan beavatkozások a természetes állapotba, mint az erd irtás, a nedves területek kiszárítása, a földhasználat változása, a parti sáv változása, mind-mind hozzájárultak az els dleges terek megváltozásához. Új földhasználati kategóriák jelentek meg: rétek, legel k, erd maradványok. Az újonnan kialakult vegetáció idegen és invazív fajokkal van tele, melyek a hullámtéren áthatolhatatlan akadályt képeznek az árvizek levonulásakor. Ennek következménye az árvizek magasabb vízszinteken történ levonulása (Anderson et al., 2006; Müller et al., 2011), amikor a Mura kilép a hullámtérre (Hercsel, 2008; VIZITERV Consult és Láng, 2009; NYUDUVIZIG 2009, 2014). 1972-ben a Murán $1580 \text{ m}^3/\text{s}$ vízhozamot mértek 514 cm vízállással, 2005-ben az árhullám $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ vízhozammal 509 cm vízállás

mellett vonult le. 2014 évben új LNV értékkel vonult le az árhullám: $1408 \text{ m}^3/\text{s}$ vízhozamhoz 544 cm vízállás társult.

A fentiekb l látszik, hogy a történelmi államhatár változások miatt a Mura összehangolt vízgazdálkodási szempontú rendezésére, amely kiterjedne a teljes vízgy jt re, nem került sor. A folyó medermódosulásai és árvizei állandó figyelmet igényelnek, mert az utóbbi évtizedek széls séges éghajlati változásai tovább fokozták a változásokat. Az elmúlt 3-4 évtizedben az ártér szállítóképessége kb. $300 \text{ m}^3/\text{s}$ -rel csökkent. Ezzel a tendenciával a védm vek nem képesek lépést tartani, további emelésük nagyon költséges lenne. Ez azt is jelenti, hogy a korábbi nagy árvizeket már nem tudja a jelenlegi hullámtér levezetni.

Felhasználva a múlt tapasztalatait, megoldást kell tehát találni arra, hogy a holtágakat ismét bekacsoljuk a vízszállításba, pufferzónaként használva ket, a hullámtéren vagy ártéren pedig az átfolyóképességet különböz módszerekkel növelni kell. Eldöntend az is, vajon a hullámtér szállító képességének csökkenése a ben ttség miatt következett be, vagy a feliszapolódás hatása érezhet .

Az alábbiakban két különböz módszer és szemléletmód szintézisével próbálunk meg választ találni arra, hogyan alkalmazhatók a geomorfológiai kutatási módszerek a numerikus modellek eredményességének támogatására.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Hidraulikai modellezés

Amennyiben az árterület nagyságáról, az áramlás irányáról, a változók térbeli eloszlásáról akarunk információkat szerezni, a kétdimenziós modellezések alkalmazására kerül sor. Jelen esetben a MIKE 21 FM programot alkalmaztuk. A program hidrodinamikai modulja numerikusan oldja meg a RANS (Reynolds-átlagolt Navier-Stokes) egyenleteket. Az egyenletek a vízmélység és a fajlagos vízhozam változását írják le. Az egyenletrendszereket numerikusan oldja meg a program az ADI módszerrel (Alternate direction implicit), a DS algoritmus használatával (Double Sweep). A részletes leírások a program használati utasításában megtalálhatók (DHI, 2014).

A model fejlesztése során az alábbi általános modellezési lépésekre került sor:

- geodéziai adatok, LIDAR felvételek összegy jtése; ezekb l az adatokból készült a digitális terepmodell (minthogy a Mura Vízrajzi Atlaszhoz ez már 2014-ben elkészült, ennek adatait használtuk a modellezés során);

- az el készít munkákat Arc Gis 10.3 program segítségével végeztük; a számítási rácshálózathoz több felbontást is kipróbáltunk;

- a további feldolgozásokat már a MIKE 21 FM programmal végeztük; a rácsháló flekszibilis négyzetháló a mederben, és háromszögháló a hullámtéren, bes rítve szükség szerint az érzékenyebb helyeken;

- meghatároztuk a peremfeltételeket: a modelben zárt peremeket használtunk, kivéve a befolyási-kifolyási szelvényt; fels peremfeltételnek vízhozamot, alsó peremfeltételnek vízállást adtunk meg. A teljes szakaszon mindössze a letenyei vízrajzi állomáson áll rendelkezésre mért vízhozam adat. Minthogy a fels perem és Letenye között hozzáfolyó vízhozam nincs, így az eddigi tapasztalatok alapján a letenyei vízhozam id sorból elkészítettük a muraszemenyei szelvényre vonatkozó vízhozam id - sort, kb. 3 óra a két szelvény közötti érkezési id . Hasonló módszert alkalmaztunk Murakeresztúr esetében is, Letenyét 16 órát számítottunk érkezésnek.

- a területhasználati kategóriákat a rendelkezésre álló ortofotók alapján határoztuk meg;

- a modellt kalibráltuk a 2009 évi árvízre és igazoltuk a 2005 évre;

- szimulációkat végeztünk vele.

A modellezést az alábbi m szaki paraméterekkel rendelkező munkaállomáson végeztük:

CPU: 8 Core 3,60 GHz Intel Core i7-4790

Memory: 32711 MB

A hosszútávú morfológiai változások bemutatása a morfometriai paraméterek meghatározásával

Ahhoz, hogy a kanyarokat fejlettségük alapján csoportosítani tudjuk, mér számokkal kell ellátni ket.

A 2. ábrán bemutatott mér számokat a munka során az alábbiak szerint fogadtuk el:

-középvonal: azon pontok halmaza a mederben, amelyek a két parttól egyforma távolságra vannak;

-ív hossz: a sodorvonal mentén mért távolság a kanyar inflexiós pontjai között, i_1-i_2

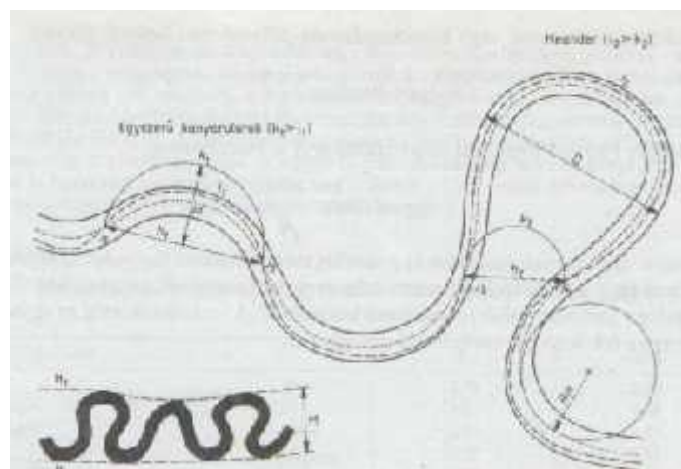
-húr: a meander inflexiós pontjait összeköt egyenes, h_1-h_2

-amplitúdó: a húr és a sodorvonal közötti legnagyobb távolság, mer legesen mérve a húrra, m

-a meander meder szélessége: 100 m-kénti szelvényezésben a középvonalra mer legesen felvett metszék értékek átlaga, B

- a kanyarok görbületi sugara: annak a körnek a sugara, amely leginkább ráhelyezhető az inflexiós pontokra és a kanyar tet pontjára, R_m

- inflexiós pont: a sodorvonal és a középvonal metszéspontja, J_1-J_4



2. ábra. A meanderek jellemző mér számai (Forrás: Általános természetföldrajz, 1998)

Figure 2. Characteristic index-numbers of the meanders

A kanyarulatok ívhosszáinak és húr hosszának alapján kiszámítottuk a kanyarok fejlettségét (h_a) a 7 vizsgált id szakban (1785, 1860, 1880, 1920, 1976, 2002, 2014), majd elvégeztük a besorolást a hat alaptípusba (Lacay, 1982), amely szerint a kanyar:

álkanyar, ha a két szomszédos inflexiós pont látható egymásból a víztükör felett;

fejletlen kanyar, ha $h_a < 1,1$;

fejlett kanyar, ha $h_a = 1,1-1,4$ és a kanyarulati szög $< 120^\circ$;

érett kanyar, ha $h_a = 1,4-3,5$;

túlfejlett kanyar, ha $h_a > 3,5$;

átszakadó kanyar, ha a szomszédos kanyarulatok ívei a mederszélesség kétszeresénél kisebb távolságban vannak.

Vizsgált mintaterületek

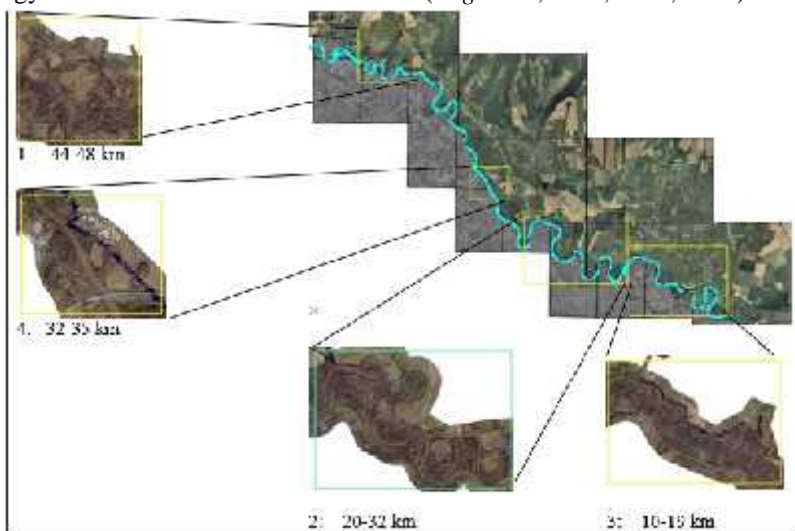
A hidraulikai modellezés területének meghatározásánál figyelni kellett a rendelkezésre álló számítógépes kapacitásra is, így az alsó szelvényt a 9+497 km-nél határoztuk meg, a Murakeresztúri árvízi készültséget visszavonó vízmércénél, így tényleges

alsó peremfeltételt tudunk adni a modellnek. A felszervény pedig a magyar-horvát-szlovén hármashatár térségében lévő 49+828 km szelvénnyel, a Kerka-patak betorkollása alatt.

A morfometriai vizsgálat tárgyát a teljes 48 km hosszú folyószakasz képezi a magyar országhatárra történő belépésétől a Drávába torkollásig. Annak ellenére, hogy a védmenetek közé szorított folyónál a medervándorlást megakadályozottnak tekintjük és kanyarulatfejlődést a természetes szakaszokon figyelünk, elvégeztük a morfometriai elemzést a teljes hosszra, valamint részletesebben 4 kiválasztott mintaterületre is, mert a partbiztosítással ellátott kanyarok, azok megsérülése esetén, fejlődni és vándorolni kezdek az évek során. Így érdekessé vált számunkra azon

paraméterek meghatározása, amelyek ezekről a változásokról tanúskodnak.

A részletes elemzéshez négy mintaterületet jelöltünk ki (3. ábra). Az 1. sz. mintaterület Muraszemenye térségében található, a Mura folyó 44-48 km közötti szakaszán. A mintaterület kiválasztását indokolta a terület nyílt ártér jellege. A jelenlegi magyar szakaszon itt figyelhet meg a természetes kanyarulatfejlődést. Jobb parton horvát töltés található, de a magyar oldalon a kanyarulatfejlődés nem akadályozott. Ezen a területen figyeltük meg és készítettünk összehasonlítást a kanyarulatok torkolati részének éves elmozdulásáról. Az adatokat a korábban megvalósított kutatás eredményével állítottuk párhuzamba (Engi et al, 2011, 2012, 2016).



3. ábra. A vizsgálat tárgyát képező 4 kijelölt mintaterület elhelyezkedése
Figure 3. Location of the investigated four pilot areas

A 2. és 3. sz. mintaterület Letenye térségében Mura folyó 20-32 km, illetve Tótszerdahely, Molnári és Murakeresztúr térségében a 10-19 km szakaszát fedile, váltakozó szélességű hullámtér kanyarokkal és átmetszések nyomaival, amely a 3. területen a meanderezési hajlam visszafelé déli tendenciáját mutatja. A 4. sz. mintaterület Letenye térségében a Mura folyó 32-35 km szakaszán található egyenes szakasz, a híd környezetében annak hatásától befolyásolt, a szakaszon folyamatosan zátonyképződési hajlam figyelhető meg.

Térképi adatok rendelkezésre állása

A Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (Szombathely) és a Horvát Vizek (Varazsd) együttes munkájának eredményeképpen 2015-ben elkészült a Mura folyó közös érdekű szakaszára a Mura Vízrajzi Atlasz, amely keretében felépítésre került a digitális térképi adatbázis is, melyet az elemzésekhez használtunk az alábbiak szerint:

- történelmi térképek: az I., II. és III. katonai felmérés térképlapjai

- az 1976 évi Magyar-Horvát Mura Vízrajzi Atlasz helyszínrajzáinak szkennelt lapjai;
- 2002 évi horvát ortofotók 8 bites fekete-fehér;
- 2005 évi színes magyar ortofotók;
- 2014 évi színes ortofotó állományok.

A horvát és magyar vetületi rendszerek eltértek, a magyar vetületi és magassági rendszer az EOVI/EOMA, míg a horvát rendszer a HTRS96/ADRIA, de minthogy kész adatbázis áll rendelkezésre, nem kellett transzformációs megoldásokkal foglalkozni. Az adatbázis elállításánál az ArcGIS for Desktop Standard program rendelkezett a szükséges eszközökkel a vetületi és vonatkozási rendszerek automatikus kezelésére. A katonai felmérések és a topográfiai térkép-rasztros, szkennelt állományai a megfelelő méretben kivágásra, összefűzésre, színki-egyenlítésre és geometriai illesztésre, korrekcióra kerültek az adatbázisban.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Geoinformatikai vizsgálatok

A térképsorozatokkal az 1785-ös, 1860-as, 1880-as, 1920-as, 1976-os, 2002-es és 2014-es állapotokat tudtuk egymásra vetíteni. Az 1920. és 1950. évek közötti állapotra nem sikerült térképet beszerezni. Minthogy a katonai felmérések több éven keresztül tartottak, a nyomvonal idejének a felmérés középs éveit fogadtuk el. Az elemzésekhez 7 vektorizált álmományt, nyomvonalat készítettünk el a fenti adatbázis használatával. Digitalizálásra kerültek a partvonalak, a középvonal, a zátonyok, a vízrajzi létesítmények sorából a töltések, partbiztosítások, sarkantyúk, terelések, valamint a hullámtér a holtágak.

- 1. sz. nyomvonal: az 1. katonai felmérés térképlapjai alapján digitalizált, amely az 1785. évi időszak állapotát ábrázolja. A térkép felvételezése 1782 és 1785 közötti, vetület és koordináta rendszer nélkül készült 1:28800-as méretarányban. Mivel nincs vetület, a térképlapok illesztése nehéz és pontatlan. Mivel minden lap egy önálló grafikai munka, a különböző területek kidolgozottsága is eltér. Átlagos pontatlansága 30-100 méter közötti. A korszakból nagyobb pontosságot nem lehet elérni, viszont tökéletesen megfelel a természetes mederfutás referenciájának.

- 2. sz. nyomvonal: a 2. katonai felmérés térképlapjai alapján digitalizált, amely bemutatja az 1860-as éveket. A felmérése 1806–1869 között zajlott le, a jozefiniánus térkép tapasztalatai alapján, annak aktualizálásával, újramérésével, hibáinak kiküszöbölésével, Cassini féle szelvényezést és vetületrendszert alkalmazva, és magassági méréseket is végezve.

- 3. sz. nyomvonal: a 3. katonai felmérés térképlapjai alapján digitalizált az 1880-as évekre, a méterrendszer bevezetése után készültek a térképek magassági adatokat is tartalmazva 1:25000 méretarányban.

- 4. sz. nyomvonal: a jelenlegi magyar-horvát országhatár a trianoni határ, amely a Mura folyó középvonalában került meghatározásra az 1921-1925. évi határkitézési munkák során páros határjelekkel, így ez a tengelyvonal is megfelel egy középvonalnak. Ebből az időszakból csak a középvonalat használjuk az elemzésekhez, mert partvonalak nem állnak rendelkezésre.

- 5. sz. nyomvonal: az 1976 évi Mura Vízrajzi Atlasz szkennelt térképlapjairól digitalizált nyomvonal,

amely az 1950-1976 közötti időszakot ábrázolja. A térkép kimondottan vízügyi ágazatnak szolgálati használatra készült, a jelölések a vízfolyás töréspontjait, szelvényezését, partvéd m veit ábrázolja helyszínrajzi szinten, méretaránya 1:10000.

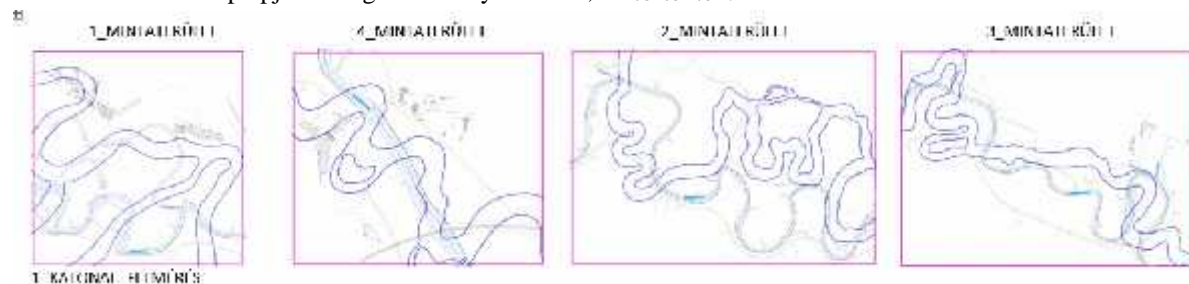
- 6. sz. nyomvonal: a 2002 évi fekete-fehér horvát (HRDOF) és a 2005 évi színes magyar ortofotó (MADOP) összeillesztésével elkészítettük a részletes, légifelvételről digitalizált nyomvonalat, amely lefedi az 1976 óta eltelt 25 éves időszakot. Minthogy 2002-ig már kiépültek a partvéd m vek mindkét oldalon, a 2002 és 2005 közötti időszak alatt a középvonal elmozdulása nem jelentős, ezért a különböző dátálású ortofotók használata a célra elfogadható. A térképi ábrázolást a továbbiakban 2002 évvel jelöljük.

- 7. sz. nyomvonal: a 2014 évi ortofotó és a terepi felmérések feldolgozásával kapott nyomvonal, amely prezentálja az elmúlt 10 év változásait.

Történelmi korszakok meghatározása

A kutatás alapját a szabályozási munkák áttekintése jelentette, valamint az antropogén és a természetes mederváltozás szakaszainak elkülönítése a fejlődés szabályszerűségeinek megállapítása érdekében. A történelmi dokumentáció rendkívül hiányos és több levéltárban elszórtan található. A vizsgálat tárgyát képező 48 km hosszú folyószakasz szabályozási munkái 3 időszakra oszthatók. Az alábbi ábrák (4-5-6-7. sz. ábrák) szemléltették az elemzett korszakok partvonalait a 2014 évi Mura Vízrajzi Atlasz elhalványított képeinek alátetítésével.

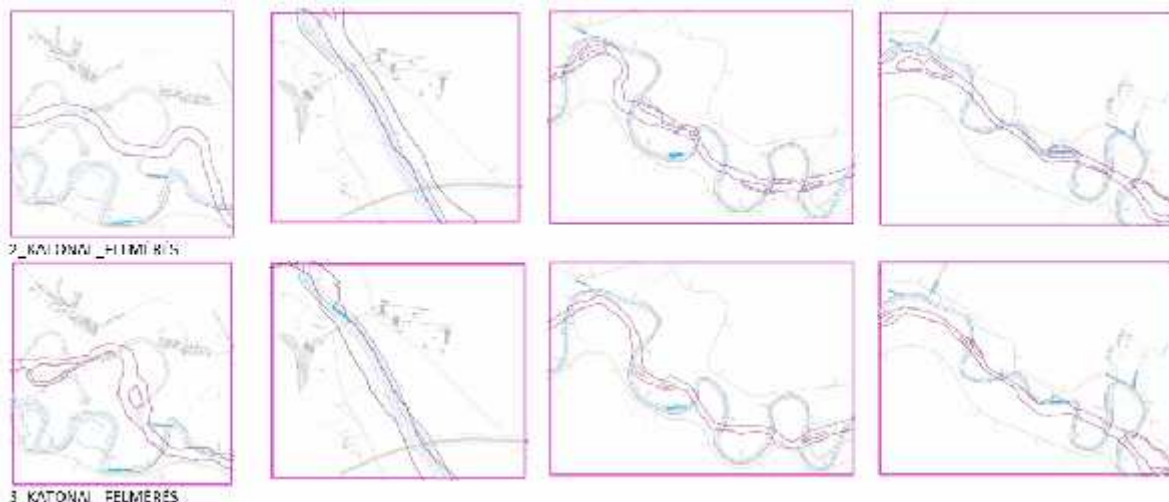
Az első korszak a 16-17. századra tehető, amely a helyi érdekeket véde esetleges beavatkozásokkal jellemezhető. Mivel ebből az időszakból tájékozásra alkalmas térkép nem maradt fenn, az informaticai módszerrel ezek a beavatkozások nem mutathatók ki. Az 1788-ban készült térképről és az iratokból megállapítható, hogy ezek a beavatkozások nem a mederfutását módosították, hanem közvetlen partvédelemmel foglalkoztak. A helyi lakosság összefogásának alacsony szintje nem tette lehetővé átmetszések létesítését. A Murán végzett szabályozási munkákról az első feljegyzések a XVIII. második feléből származnak. A beavatkozások csak az akkori Mura-menti uradalmak védelmére, helyi beavatkozás jelleggel történtek.



4. ábra. Az első vizsgált korszak partvonal ábrázolása a 4 kijelölt mintaterületen
Figure 4. River bed lines in the four pilot areas for the first investigated period.

A második szakaszban - az Osztrák-Magyar Monarchia idején - nagyobb volumen, összehangolt munkálatokkal találkozunk, melyek célja a hajózhatóság biztosítása volt. Ekkor azonban tartományi ellentétek nehezítették a tervek kivitelezését. Néhány átmetszés készült el 40-50 év alatt. Az első szabályozási terv (melyről tudomásunk van) 1865-ben készült el a Magyarország és Stájerország közötti Mura szakaszra. Ezt követően szabályozások többnyire csak osztrák területen történtek. Magyarországon csak 1897-ben indult meg a szabályozás, amelynek célja az egységes meder létesítése állandósított partokkal, a vízszint leszállítása és a mellékágak elzárása, feliszapoltatása

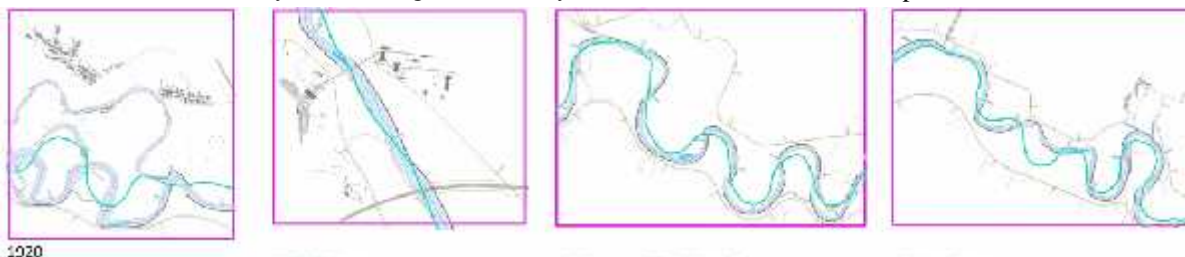
volt. A mederre vonatkozó általános elvek szerint a folyó legkisebb kanyarlati sugarának meg kellett haladnia a 600 métert, és megszabták a szabályozási szélességet is. Ezek szerint a Dráva torkolatától a Kerka betorkolásáig 100 m, ettől folytatódva egészen Ráckanizsáig 90 m, majd Radkersburgig 75 m széles medret szabtak a folyónak. 1918. után a Mura a Dráva torkolatától a Kerka patak betorkolásáig határfolyó lett, a rendszeres szabályozási munkák Magyarország részéről hosszú időre megszűntek, illetve ezt követően is csak a partok biztosítására és a kanyarok elfajulásának megakadályozására szolgáltak.



5. ábra. A második vizsgált korszak partvonal ábrázolása a 4 kijelölt mintaterülettel
Figure 5. River bed lines in the four pilot areas for the second investigated period.

A harmadik szakasz során, az I. világháborút követően következett be a legnagyobb változás, amikor az addig egy birodalom felügyelete alá tartozott folyón négy önálló állam osztozott. Az I. világháború után a Mura magyar oldalán több szakaszon történt lényeges beavatkozás. Muraszemenyénél 1927-ben átmetszéseket végeztek az alsószemenyei község részére védelmére. Murarátka térségében bekövetkezett kanyaratszakadás biztosításával az út veszélyeztetése megszűnt. Letenye

térségében a sodorvonalnak a közúti hídra való jó rávezetése érdekében 1939-től partbiztosítások, sarkantyúk, mederelzárások készültek. Tótszerdahely, Molnári és Murakeresztúr térségében szintén partrongálások elleni biztosítások és szabályozási munkák kerültek beépítésre. A Mura menti területek védelme érdekében azonban árvízvédelmi töltések, nyárigát jelleggel, kisebb területek mentesítésére csak az 1940-41-es években kezdtek kiépülni.



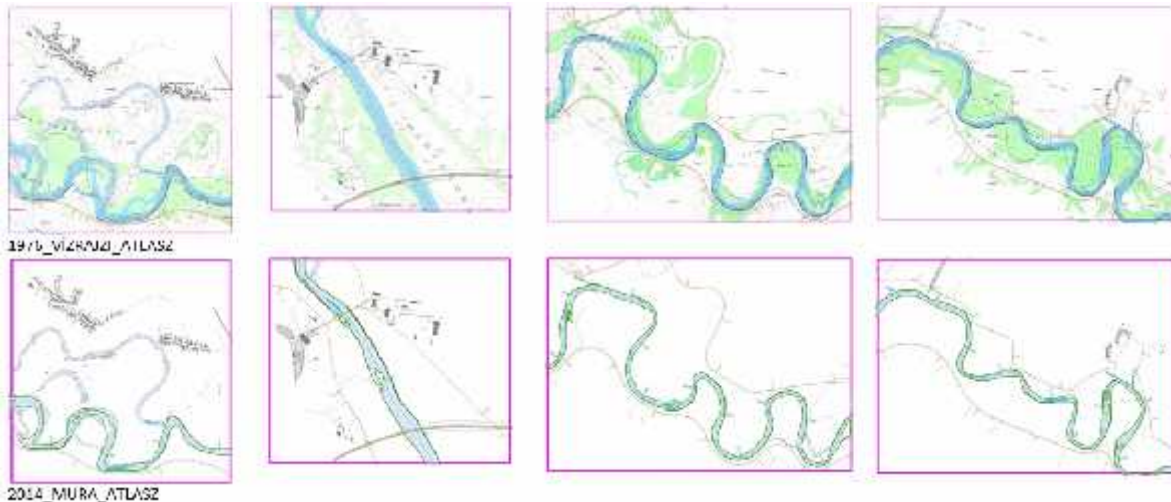
6. ábra. A harmadik vizsgált korszak kezdeti állapota a trianoni határvonal ábrázolásával a 4 kijelölt mintaterületen
Figure 6. Initial state at the beginning of the third investigation period with the Trianon country border line in the four pilot areas

1950. után a területileg illetékes Vízügyi Igazgatóság folytatta a korábban elkezdett lokális beavatkozások fejlesztését, fenntartását. Az irányzat mindinkább az volt, hogy a lokális beavatkozások egy általános

szabályozási tervbe illeszkedjenek be, amely 1978-ban elkészült, de többnyire csak a tervezett mederbiztosítások, illetve szabályozási munkák egy része épült meg, a tervezett mederátvágásokra nem került sor. Az oszt-

rák, jugoszláv, magyar hidrológiai és vízrajzi tanulmányok alapján 1959-ben elkészített fejlesztési program az árvízi hozamot $1650 \text{ m}^3/\text{s}$ -ban, a töltések távolságát pedig 600-750 méterben határozta meg, rögzítette az árvédelmi gátak méreteit is. Kezdetben a védmények a letenyei vízmércén mért +500 cm-es vízálláshoz tartozó felszíngörbe alapján kerültek kiépítésre. Az 1972. évi árvízkor +514 cm-es tetszőleges vízál-

lást mértek a letenyei vízmércén, s a későbbiekben ezt tekintettük mértékadó vízállásnak. Az akkori árvíz során két helyen is volt töltésszakadás (a tótszerdahelyi és a birkitői öblözetben) jelentős károkat okozva. Az 1972-es évet követően több öblözetben is történtek töltésfejlesztések. A jelenlegi védmények (védtöltések, m. tárgyak) kiépítése több ütemben 1965-2015. között történt.



7. ábra. A harmadik vizsgált korszak partvonal ábrázolása a 4 kijelölt mintaterülettel
Figure 7. River bed lines in the four pilot areas for the third investigated period

Morfometriai elemzések

Ahhoz, hogy megfigyelhessük a folyón végbemen hosszútávú változásokat, össze kell vetnünk a folyó morfológiai paramétereit hosszabb történelmi id. szakon keresztül. Amikor nagyobb volumen szabályozási munkák voltak folyamatban, az eredmények látványosan megmutatkoztak, a kiváltott hatások a paramétereket módosították és a változások és tendenciák beazonosítása egyértelmű volt. A hosszabb távú változások, mint amilyen az éghajlat változás is, kiváltanak azonban olyan hatásokat, amelyek során id. re van szükség ahhoz, hogy a változások szignifikánsan megjelenjenek. Összehasonlítva a morfológiai paramétereket, az eltérések kimutathatók és következtetni lehet belőlük a vízfolyás morfológiai állapotára illetve a jövőbeni változások irányára.

A természetes szakaszok vizsgálata

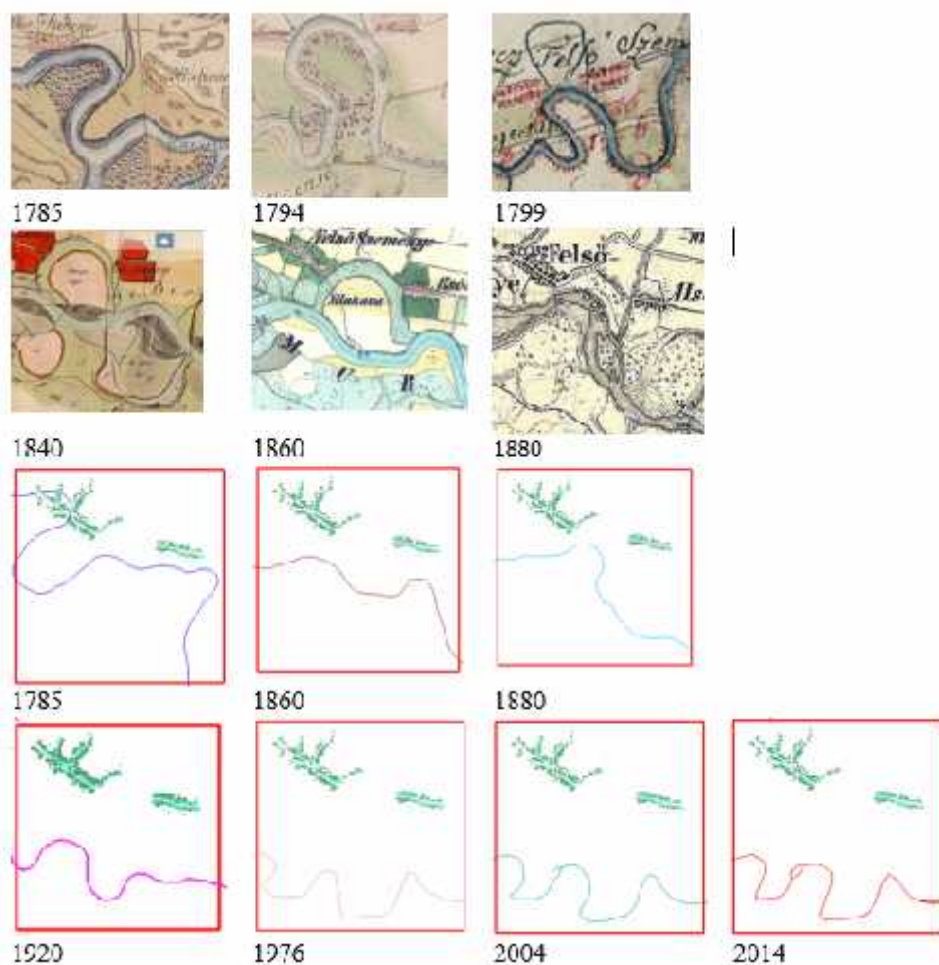
Az 1. mintaterületen vizsgálat alá vontunk egy kanyarsorozatot Muraszemenye térségében. A régi levél-

tári térképlapok segítségével megpróbáltuk rekonstruálni a fejlődését (8. ábra).

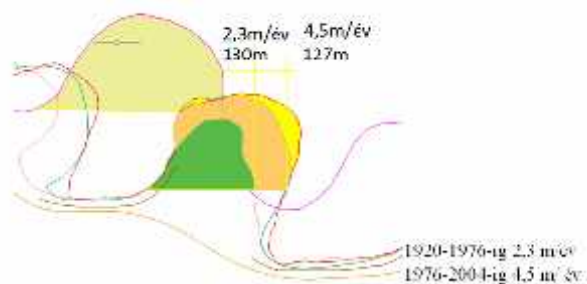
A képeken látható, hogy Muraszemenye térségében az 1785-1799. között az egyik kanyar túlfelletté vált. Az 1794 évi szabályozási térképlapon ábrázolták is az átvágás helyét. Az 1840. évi térképlap már az új állapotot ábrázolja. Ebből fejlődött ki 1880-ig egy újabb nagy kanyar, melyet ismét szabályozásnak vettek alá. Az 1920 évi nyomvonal már a településtől délre halad, az előzőekben leválasztott kanyarok pedig holtágakká váltak.

Vizsgáltuk az 1. mintaterületen levő kanyarsor oldalirányú elmozdulását. Az 1920 és 1976 közötti időszakra $2,3 \text{ m/év}$, 1976 és 2004 közötti időtávra pedig $4,5 \text{ m/év}$ volt az elmozdulás értéke (9. ábra).

Ezen a szakaszon a található az a tó, amely veszélyben van, amennyiben a meander átszakad (2016. májusában megtörtént). Látható, milyen fontos adattal szolgál a morfológiai értékelés, amely segít a fejlődés irányának illetve gyorsaságának meghatározásában.



8. ábra. Kanyarulat fejlődése az 1. mintaterületen (Muraszemenye térsége)
Figure 8. Meander development in the first pilot area (Muraszemenye region)



9. ábra. Kanyarulatok fejlődési sebessége Muraszemenye térségében
Figure 9. Meander development speed in Muraszemenye region

A teljes vizsgált folyószakasz hosszútávú változása

A középvonal hosszának megváltozása az egyik legjelentősebb mutatószám. A jelenlegi 49,5 km hosszú folyószakasz az 1785 évi felmérésen még 53,8 km hosszú volt, 71 kanyarral. Az 1785 – 1860 évek között ez a hossz 30 %-kal csökkent, mert 19 kanyarulat szakadt át vagy feldőlt le. A következő korszakban

már megindultak a lokális beavatkozások és az 1860-1920. közötti szabályozások alatt a megrövidült meder ismét fejlődésnek indult. A harmadik vizsgált időszakban megindultak az összehangolt szabályozási munkák, majd az időszak második felében a töltésépítések is, tehát az addigi nyílt ártér lesz kített hullámtérre vált. Az 1920-1976. évek között ismét mederhossz növekedést tapasztaltunk, 49,5 km-re, azonban ez a fejlődés 38 kisebb kanyarral valósult meg.

1. táblázat. A fontosabb morfológiai paraméterek változása a vizsgált id szakokban
Figure 2. Changes of major morphometric parameters in the investigated periods

F bb összesít adatok	1785	1860	1880	1920	1976	2002	2014
össz hossz (m)	53856	37586	37598	43141	49241	50306	49552
átlag meder széles- ség (m)	185	154	140	-	94	74	80
kanyarulatok száma (db)	71	52	52	62	100	101	97
ívhosszak átlaga (m)	759	723	723	696	492	498	512
amplitúdók átlaga (m)	126	110	88	122	73	75	81
húrhosszak átlaga (m)	525	621	642	524	448	433	459

A vizsgált teljes hossz **mederszélességét** a szabályozások el tti korszakban 185 m átlagértékkel jellemeztük. A meder több helyen fonatos mintázatot mutatott. 1920-ig a szélesség 140 m-re csökkent és az ábrázolásból látható volt, hogy a folyó meanderez típusú fejl dött. A partbiztosítások kiépítése, a kanyarok átvágása, a mederszabályozások miatt a szélesség 100 m alá csökkent, amely az el írt szabályozási szélesség volt. Napjainkban ez az érték 80-90 m között változik. Azonban a zátonyképz dési hajlam miatt a meder szélesedéséhez vezet ezeken a helyeken. A folyó mellékágakat fejleszt.

A **kanyarok fejl dését** az ívhosszak, az amplitúdók és a húrhosszak átlagértékével jellemeztük. Az amplitúdó a húrral és az ívhosszal együtt vizsgálva megmutatja, hogy a kanyarulatok milyen módon alakultak át. A szabályozások el tti korszakban a kanyarulatok nagyobbak voltak, ívhosszuk 759 m, húrhosszuk 525 m, amplitúdójuk 126 m átlagértékkel jellemezhet . A nagy meanderek átvágásra kerültek, az új nyomvonalon új kanyarok kezdtek fejl dni. Azonban a kanyarok laposodtak és tágultak. Az ívhossz és az amplitúdó értéke csökkent miközben növekedett a húrhossz. Több egyenes szakasz is bekelet dött, a húr hossz növekedése folytatódott, amely a kanyarok alsó részének a kinyílásához vezetett. Majd következett az összehangolt szabályozások és töltéépítések id szaka. 1976-ra a kanyarulatok húrhossza, ívhossza és az amplitúdók tovább csökkentek, majd fejl dni kezdtek. A meanderen megjelentek az új fejletlen másodlagos kanyarok és közéjük ékel dött egyenes szakaszok, és kialakultak az omega-meanderek összetett formái.

A **laterális elmozdulást** a nyomvonalak egymáshoz vetítésével vizsgáltuk. Az oldalirányú elmozdulás elemzése során a szabályozási id szak nagyméretű kanyarulatainak elmozdulásait nem vettük figyelembe. A szabályozási id szakok el tti (1785-1860. és 1860-1920.) kanyarulatok oldalirányú elmozdulásai egyformán nagy értékeket mutatnak mind a négy mintaterületen: az átlagértékek 209-515 m illetve 106 - 433 m között változnak. Ekkor még nyílt ártéren mozogtak a kanyarulatok, illetve csak helyenként épültek ki töltésezett szakaszok. Az 1920-1976. évek legmagasabb

értékét az 1. mintaterület adta 319 m-rel (5,7 m/év). Minthogy ez a szakasz maradt nyílt ártér jelleg , az 1976-2014. id szakban mindössze 105 m-re csökkent az elmozdulás (2,8 m/év). A partbiztosítással rögzített 2-3-4. mintaterület jellemző en hasonló értékeket mutatott 11-17 m.

A szabályozások el tti szélességek változóak, 128 és 233 m között változnak az értékek. Majd az 1897 évi szabályozási elv a Dráva és Kerka torkolata között 100 m mederszélességet határozott meg. Ehhez az értékhez viszonyítva az 1976 évi felmérés adatai 78-88 m. Az 1976- 2002 évi felmérés adatai mind a négy mintaterületen a szélesség csökkenését mutatják, 68 m - 99 m közötti értékekkel. A csökken tendencia 2014-re az 1., 2. és 3. mintaterületeken megállt és a folyó ismét szélesíti medrét, megjelentek a zátonyok.

Kanyarulatok morfológiai paramétereinek hosszú távú változásai

Az elemzések alapján a kanyarulatok **fejl désének több állapotát** figyeltük meg a húrhossz és az amplitúdó kapcsolata alapján. Amikor az amplitúdó növekedett, de a húr hossza nem változott a kanyarulatok megnyúltak. Amikor a húrhossz csökkent, de az amplitúdó azonos maradt, a kanyarok alsó része összeszes kült, hurkot alkotott. Amikor a húrhossz növekedni kezdett, a kanyarok alja szétnyílt, laposodtak és tágultak.

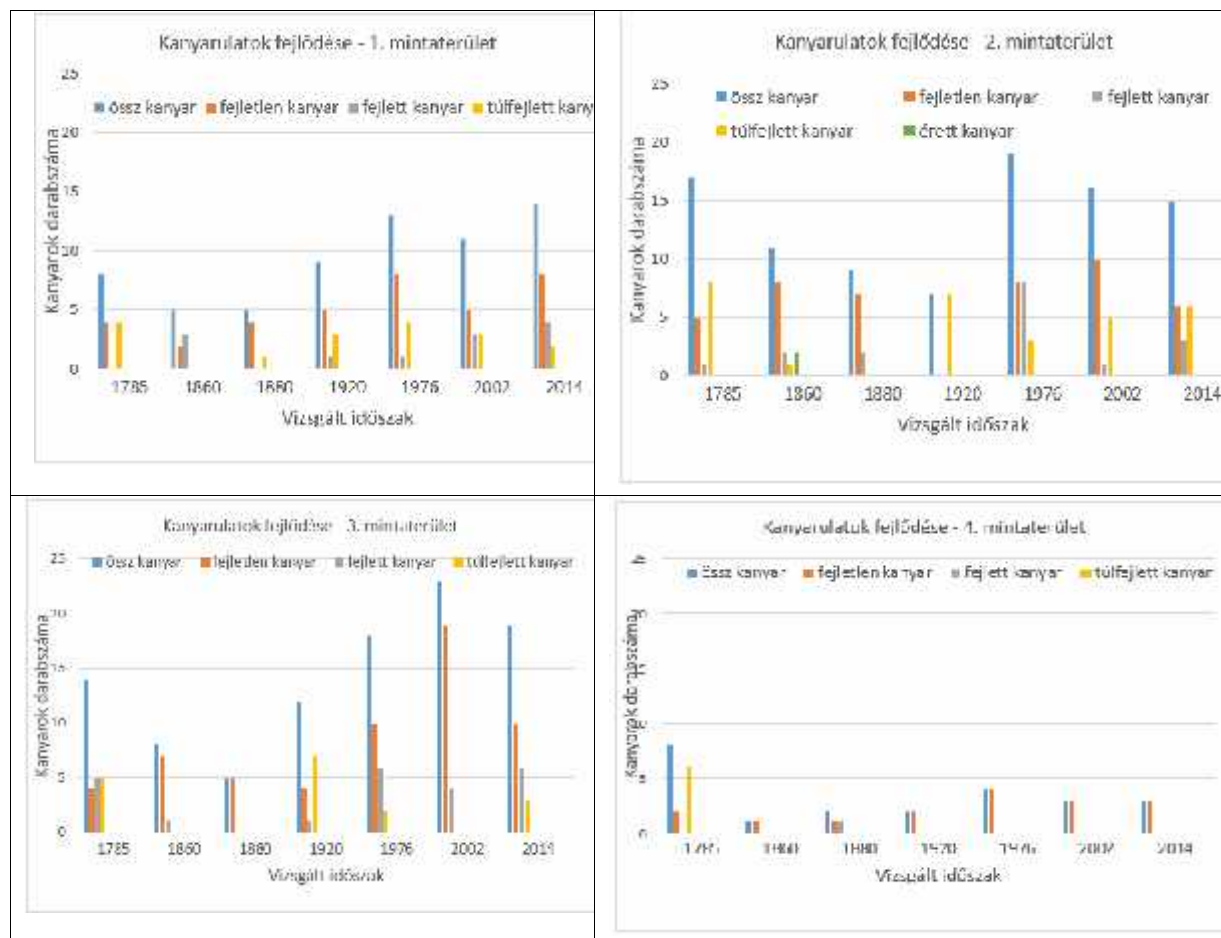
A középvonalhosszak és völgyhosszak arányaként meghatároztuk a **kanyargósság** mértékét A mintaterületek kanyargóssága a szabályozások el tt igen nagymértékű volt, a 2. mintaterület kanyargósságának mértéke 3,13 volt. A beavatkozások megjelenésére utal, hogy már az elkövetkező vizsgált id szakban ez a szám a négy mintaterület vonatkozásában 0,91 és 1,38 közé csökkent. 1976-ig ez az érték a 2. mintaterületen megn tt 2,46-ra, és jelenleg is itt a legnagyobb: 2,35.

Kanyarulatok fejl dese

Az elemzés alapján a szabályozások el tt 71 kanyart azonosítottunk, ebb l a teljes hosszon 36 túlfejlett és 2 érett kanyart. 1920-ig a szabályozási munkák

miatt a meanderek száma csökkent, majd utána növekedni kezdett. A túlfejlett kanyarok száma is erőteljesen megnövekedett, de csökkent a fejletlen kanyarok száma, ami azt jelenti, hogy a fejletlen kanyarok egy része átalakult fejletté, illetve az összetett kanyarokon kialakult másodlagos kanyarok már önálló kanyarulati paraméterekkel rendelkeztek. Gyorsabb változás is felfedezhető, néhány fejletlenként azonosított kanyar

az id szak alatt elérte a túlfejlett formát. 1976-ra a kanyarok száma jelentősen megnőtt, 100 darabot azonosítottunk. A szabályozási munkák hatására a nagy kanyarok eltűntek, jellemző lett az áll és fejletlen kanyar. Nőtt a fejlett kanyarok száma, de csökkent a túlfejletteké. Átvágásra és lefelé dőlése utaló nyomokat találtunk, ami magyarázza ezt.



10. ábra. A kanyarulatok számának időbeli alakulása a 4 mintaterületen

Figure 10. Changes of number of meanders in time in the four pilot areas

Napjainkra a kanyarok száma 100-ról 97-re csökkent. A fejletlen kanyarok száma eleinte nőtt, majd csökkent, mert elérték a fejlett kanyarulatoknak megfelelő határértéket és átsorolásra kerültek. Ennek megfelelően nőtt a fejlett kanyarok száma, és hasonló fejlődési tendencia alapján a túlfejlett kanyarok száma is nőtt.

A hullámtéri levonulás 2 dimenziós hidraulikai modellezése

Egyre elterjedtebb gyakorlat, hogy a nagyvízi elrejelző modellek a megfelelő eseményt beazonosítják egy múltbeli eseményhez és eredményképpen az előntési térképek szériáját is felkínálják. A gyakorlatban ez nagy segítség a döntéshozók számára, összehasonlítás alapjának. Az árvízi modellezés eredményeként kapott árvízi veszélytérképek fontos információk hordozói:

azonosítják árvízvédekezésük a veszélyhelyzetnek kitett területeket, adatokat szolgáltatnak az árvízkárok értékelésekor, az árterületek kezeléséhez és fejlesztéséhez, az árvízi elrejelző rendszerekhez.

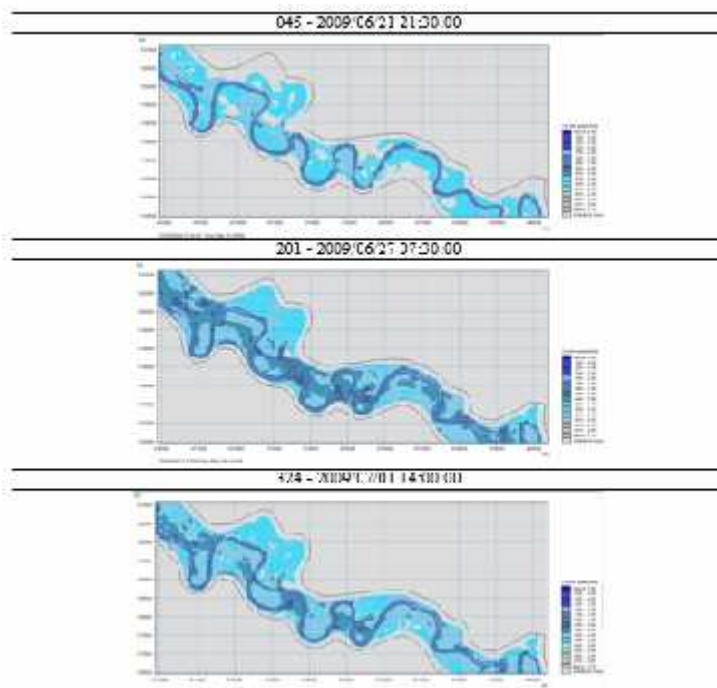
Az előntési térképek két típusa létezik: történelmi adatokon illetve árvízi modellezésen alapuló. A történelmi előntési térképek készítéséhez összegyűjtik a történelmi árvízi adatokat, gyakran szóbeli elbeszélésekből, újságcikkekből, fényképekből pontosítva a mért adatokat, és kinyomtatják egy térképen. Az előntési térképek másik típusa a visszatérési időn alapul, ami egy elméleti, szintetikus esemény. A történelmi előntési térképeknek megvan az előnye, hogy az előntési határokat nehezen lehet vitatni és elég könnyen állíthatók, ha vannak adatok. Azonban egy konkrét esemény alapján készülnek, nem teljeskörű adatokat tartalmazva, néha szubjektívek, és amennyi-

ben több személy által és több időpontban készítik, nem egyforma kidolgozottságúak. Amennyiben a térképek készítése során az árvízi események visszatérési idejét vesszük alapul, konzisztens megközelítési lehetőséggel térképsorozatot készíthetünk, és ezek a térképek mindig aktualizálhatók.

Mai modellezési tudásunkkal a történelmi árvizek modellezése megoldható, amennyiben adatok állnak rendelkezésre. Ha rendelkezésünkre áll egy pontos, megfelelő részletességű terepmodell, valamint a modell futtatás során az eredményként kapott vízállások, elkészíthetjük az elöntés térképi lehatárolását, majd a megfelelő feltételek alapján kijelölhetjük az árvíz veszélyességi zónákat. Ezek a térképek már nem tartalmazzák azokat a potenciális pontatlansági problémákat, amik elállhattak a történelmi árvizek térképeinél. Egy történelmi árvíz igazolása történhet árvízi

esemény modellezés útján kapott értékével. Amint az árvízi modell sikeresen kalibrálva lett és az igazolása is megtörtént, felhasználható különböző visszatérési idejű elméleti árvízi események elöntési térképeinek készítéséhez.

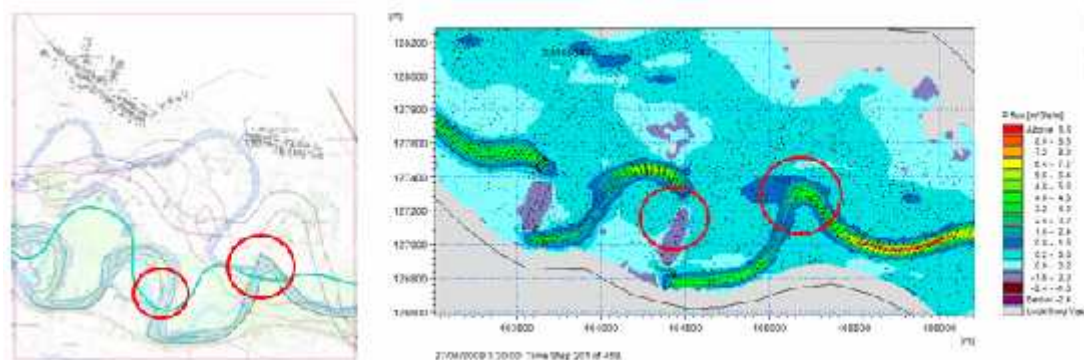
Amennyiben rendelkezésre állnak az árvíz ideje alatt történt repülések felvételei vagy m. hold felvételek, a modellezett elöntési határok igazíthatók a valós eseményhez és így a modell paraméterei szükség esetén még tovább kalibrálhatóak. Figyelni kell azonban arra, hogy ha a modell bemenő adatai bizonytalanok vagy pontatlanok, gondolunk most a terep szemantizálására, a modell eredményeként sem várhatunk el pontos eredményt. Ezért tudni kell, hogy milyen intervallumban használhatjuk ezeket a térképeket és ez fogja meghatározni azt is, hogy milyen célra tudjuk alkalmazni ket.



11. ábra. Az árhullám áradó, tető és apadó ágának jellegzetesebb lépései
Figure 11. Characteristics of rising, peaking and falling limb of a flood wave

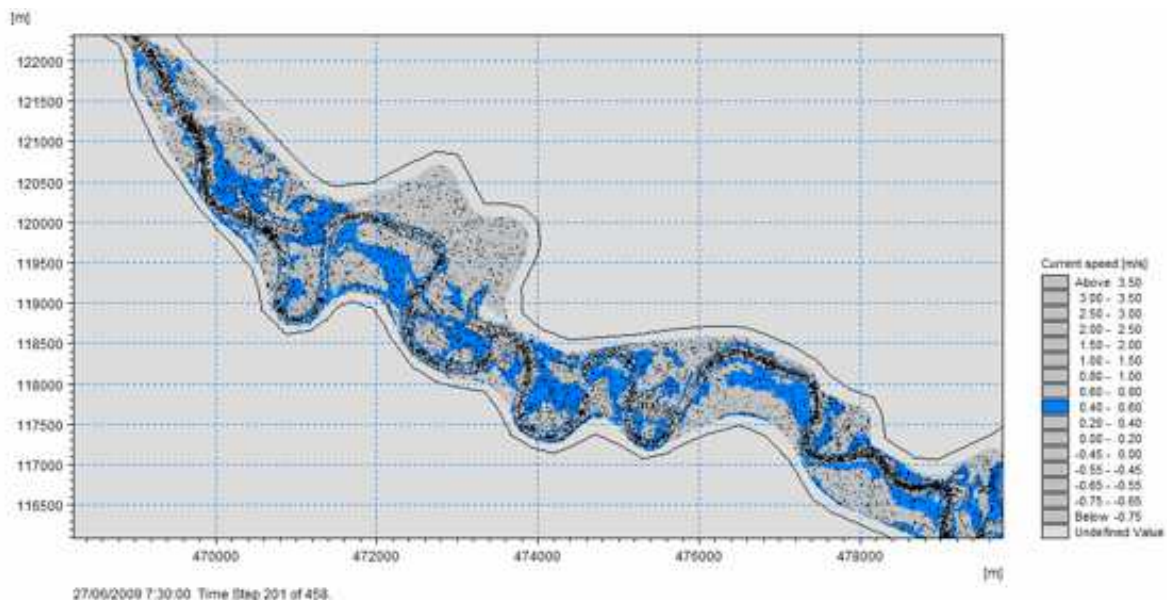
A kalibrált és igazolt modellel múltban levonult árhullámok hatásait elemezhetjük, de használhatjuk jövőbeni események szimulálására is. A továbbiakban a 2009. évi árhullámmal fejlesztjük a modellt, ezért ennek az elöntési térképezését ábrázoljuk. A 2009. évi árvíz nem érte el a $Q_{1\%}$ -os értéket, ami $1650 \text{ m}^3/\text{s}$, ennek ellenére magasabb vízállásokkal vonult le kisebb vízhozam érték mellett és felhívta a figyelmet arra, hogy az ártéren csökkent a szállítási képesség. A 11. ábrán bemutatjuk a 2009. évi árhullám levonulását a hullámtéren, kiválasztva néhány jellegzetes időpontot.

A 2D dimenziós modell vizsgálat arra irányult, hogy megnézzük, az árvíz nagy tömege hol vonul le az ártéren, miután kilépett a mederből, van-e áramlási iránya és összehasonlítottuk az elvégzett morfológiai kutatások elemzéseinek eredményeivel. Az 1. mintaterületen a levonulási sáv a jelenlegi folyómeder kanyarulatok közötti területre koncentrálódik. Azonban ha összevetjük a régi térképekről kinyert és feldolgozott nyomvonalakkal, megállapítható, hogy felhasználja a szállítást az 1920-as nyomvonalat, amelyet zöld színnel jelenítettünk meg (12. ábra).



Megállapítottuk, hogy a f vízhozam a mederben vonul le, de a hullámtér is lényegesen hozzájárul a nagyvizek szállításához. Sávokban történik a levonulás, a meandereket keresztülszelve, a kanyarok irányát figyelmen kívül hagyva. A 0-0,2 m/s sebesség holtterek többnyire a hullámtér peremén, a töltések közelében alakulnak ki. Elkülönülnek

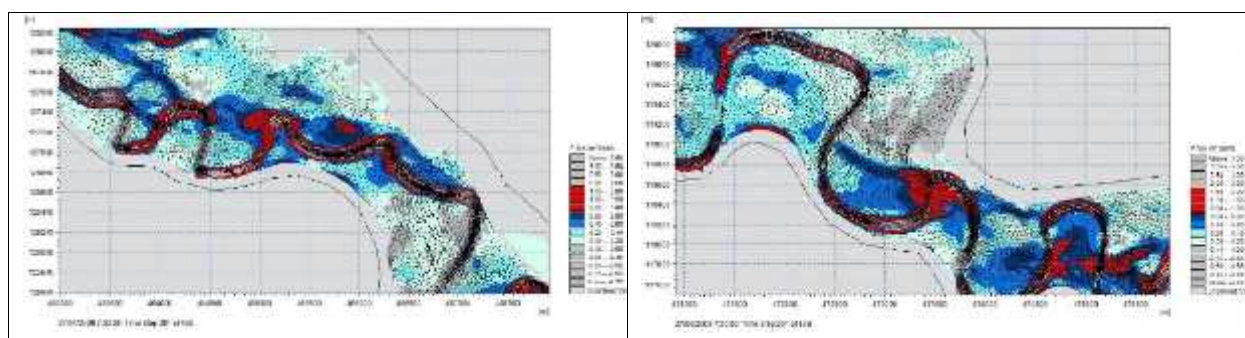
nagyobb vízmennyiséget levezető sávok. Esetünkben mind a 4 mintaterületen ezek a sebességmező értékek 0,4-0,8 m/s között mozognak. Megfigyeltük, hogy az árvízcsúcs idején erősen kirajzolódott ez a levezető sáv, amely a Mura régi medre volt a 2. és 3. katonai felmérés idején (15. ábra).



15. ábra. A 0,4-0,6 m/s sebességmező a 2. és 3. mintaterületek térségében
Figure 15. The 0.4-0.6 m/s velocity range in the 2. and 3. pilot areas

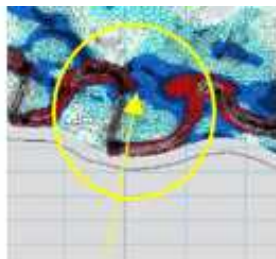
Az elemzések során elkészítettünk egy olyan rétegtípusot, amellyel a meanderek átszakadási irányát vizsgáltuk. Határértéknek $0,8 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ fajlagos vízhozamot vettünk, mert ennél az értéknél kezdtek a sebességvektorok átszakadási irányt mutatni. A 16. ábrán pirossal jelöltük azokat a helyszíneket,

amelyekre a jövőben feliszapolódás vagy erózió szempontjából figyelni kell. Ezek az értékek nem azt jelentik, hogy mindenképpen bekövetkezik a meanderek átszakadása, hanem azt mutatják, hogy olyan viszonyok alakultak ki, amelyek a meanderek fejé dőlése utalnak.



16. ábra. Az 1. és 2. mintaterületen a meanderek fejlődési irányának bemutatása
Figure 16. Direction of meander developments in pilot area 1 and 2

2016. májusában az 1. mintaterületen átszakadt a meander, amelyet a modell el re jelzett (17. ábra).



17. ábra. A kanyarulat átszakadása Muraszemenye térségében (Forrás: NYUDUVIZIG)
Figure 17. Meander breach near Muraszemenye (Source: NYUDUVIZIG)

ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiek alapján elmondhatjuk, hogy a történelmi térképek feldolgozása során nyert adatok nagyon fontos információk hordozói. Amennyiben ismerjük a múlt eseményeit, összeállíthatjuk az ártér történelmi fejlődésének modelljét. Minthogy ez tartalmazza az eddigi beavatkozások nyomait is, ezért következtethetünk belé a jelenkori állapotváltozásokra és a várható eredményekre.

IRODALOM

Balaži, S. 2004. Hidrotehni na analiza reke Mure. Strokovni posvet Živeti z Muro. 16-21.

Brilly, M., Koren, S., Novak, J., Engi, Zs. (2011): Transboundary Integrated Water Management of the Kobilje Stream Watershed. In: Transboundary Water Resources Management – A Multidisciplinary Approach, Wiley-VCH, pp.180-185.

DHI 2014: MIKE 21 Flow Model FM. User Guide

Engi, Zs., Nagy, L., 2016. Slovensko-madžarski priro nik za varstvo pred poplavami in odpravljanje posledic onesnaženj vodotokov. Prakti ni priro nik. Ljubljana: Inštitut za vode Republike Slovenije, ISBN 978-961-90074-9-5 (In print)

Engi, Zs., Tóth, G., Braun, M., Hubay, K., Hercsel, R. 2011. Study of the silting up process of the Mura River's floodplain in Hungary, XXVth Conference of the Danubian Countries.

Engi, Zs., Tóth, G., Steinman, F., Braun, M. 2012. Historical morphological reconstruction of the Mura River (SW of the Carpathian Basin) by using GIS methods, Zeitschrift Für Geomorphologie, Stuttgart. Vol. 56, Suppl. 2, 063-077

Globevnik, L., Mikoš, M. 2009. Boundary conditions of morphodynamic processes in the Mura River in Slovenia. CATENA, 79, 3: 265-276.

Hercsel, R. 2008. A Mura folyó magyarországi szakaszának árvízi jellemzése. Diploma munka, Baja, Eötvös József F iskola.

Hornich, R., Baumann, N., Novak, J., 2004. Wasserwirtschaftliches Grundsatzkonzept für die Mur im österreichisch-slowenischen Grenzabschnitt. Proc. 10th INTERPRAEVENT Congress, Interpraevent Research Society, Klagenfurt, Austria, pp. 105–116 (in German, with English Abstr.).

Kovačič, B., Balažič, S., Kamnik, R., 2004. Študija hidroelektrarn na reki Muri. Proc. 15. Mišičev vodarski dan 2004. Vodnogospodarski Biro Maribor, Maribor, str. 273–279

Lacza, I. 1982. A folyószabályozás tervezésének morfológiai alapjai. Vízügyi Közlemények, 64. évfolyam, 2. füzet, pp.: 235–255

Mike, K. 1991. Magyarország svíczraja és felszíni vizeinek története. Budapest. 698. old.

Müller, M., Steinman, F., Novak, G., 2011. Hidravlični modeli za prekomerno usklajevanje protipoplavnih ureditev v G. Radgoni. 2011. V: 22. Mišičev vodarski dan, Maribor.

Novak, G., Müller, M., Steinman, F., Kozelj, D. 2010. 2011. Hydraulic analysis of transboundary rivers - Dra - Mur - CI project = Hidravlička analiza prekograničnih rijeka - projekt prekogranične vodnogospodarske inicijative Drava i Mura (Dra - Mur - CI). V: BIONDI, Branko (ur.), HOLJEVIĆ, Danko (ur.), TROPAN, Ljudevit (ur.). 5. Hrvatska konferencija o vodama s međunarodnim sudjelovanjem, Opatija, 18. - 21. svibnja 2011.

SZERZŐK ADATAI



ENGI ZSUZSANNA okl. vízépít mérnök, osztályvezető, Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 9700. Szombathely, Vörösmarty u. 2. E-mail: engi.zsuzsanna@nyuduvizig.hu

DR. TÓTH GÁBOR, egyetemi docens, Nyugat-magyarországi Egyetem, Természettudományi Kar, Földrajz és Környezettudományi Intézet, 9700. Szombathely, Károlyi G. tér 4. E-mail: tothg@ttk.nyme.hu

SOMOGYI KATALIN, okl. vízépít mérnök, eladó, Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 9700. Szombathely, Vörösmarty u. 2. E-mail: somogyi.katalin@nyuduvizig.hu

Hrvatske vode pred izazovom klimatskih promjena: zbornik radova: proceedings. Zagreb; Opatija: Hrvatske vode, 781–788.

Novak, J. 2004. Mura, svet ob njej in prihodnost. Strokovni posvet Živeti z Muro. 28–39.

Petkovšek, G., Mikoš, M. 2000. Analysis of river sediments of the Slovenian–Austrian border reach of the Mura River. Electronic Proc. XXth Conference of the Danubian countries on the hydrological forecasting and hydrological basis of water management. In: The Slovak National Committee for the International Hydrological Programme of UNESCO, Bratislava, Slovakia, pp. 1–8.

Sekovani, L., Mikulić, D., Kereša, Z. 2004. Velike vode Mure. In: High and low flows - collection of works, Chapter: HIGH WATER MURA.

Tóth, G., Engi, Zs., Majdán, J., Fábián, S. Á., 2013. Historijsko-morfolóška rekonstrukcija inundacije rijeke Mure. Ekonomska i ekohistorija, 9, 9: 28–34.

Uлага, F. 2005. Concentrations and transport of suspended sediment in Slovene rivers. Materials and Geoenvironment. 52, 1: 131–135.

Vízitervező Konzult, Láng, M. 2009. Hullámtéri lefolyásvizsgálatok a Mura árvízvédelmi szakasz fejlesztésének előkészítő és tervezési feladataihoz. Budapest. Tanulmány.

LANTER TAMÁS, okl. vízépít mérnök, osztályvezető-helyettes, Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 9700. Szombathely, Vörösmarty u. 2. E-mail: lanter.tamas@nyuduvizig.hu

HERCSEL RÓBERT, vízépít szakmérnök, szakaszmérnök, Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 9700. Szombathely, Vörösmarty u. 2. E-mail: hercsel.robert@nyuduvizig.hu

BOZZAY FERENC, okl. geográfus, térinformatikus, Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 9700. Szombathely, Vörösmarty u. 2. E-mail: bozzay.ferenc@nyuduvizig.hu

A 2006 tavaszán levonult nagy tiszai árvíz kialakulását befolyásoló hóviszonyok jellemzői

Konecsny Károly*, Gauzer Balázs** és Varga György**

* Nyugalmazott hidrológus (E-mail: konecsnyk@gmail.com)

** Országos Vízügyi Főigazgatóság (General Directorate of Water Management) 1012 Budapest, Márvány utca 1/d. (varga.gyorgy@ovf.hu)

Kivonat

A különböző tengerszint feletti magasságú vízgyűjtő részek eltérő hőmérsékleti viszonyai miatt, hóolvadásból nagy árvíz a Tiszán akkor alakul ki, ha az olvadákvízhez, és formájában lehulló számottevő mennyiség csapadék is hozzájárul. Az utolsó 100 év legnagyobb tiszai árvizei közül tíz keletkezett hóolvadásból. 2005/2006 telén 552 állomásra vonatkozóan volt hóvastagság adat, és 66 állomásra hóvízgyeenérték adat. Január, február és március hónapok átlagosnál hidegebb időjárásúak voltak. Az októbertől áprilisig terjedő időszakban 10 %-os volt az átlaghoz viszonyított csapadéktöbblet. A hótakarós napok száma átlagosnál nagyobb volt, de elmaradt a sokévi maximumoktól. A hó maximális vastagsága 10-150 cm között változott. A hóvízgyeenérték maximális értéke február II. dekádjában volt, és 20-350 mm között változott. A Tisza Szeged feletti vízgyűjtő területén a februári 7,28 milliárd m³ maximum 14 %-kal elmaradt az eddigi legnagyobb értéktől. A léghőmérséklet márciusban 15°C-kal emelkedett, ezt követően a napi olvadási intenzitás 15-60 mm volt. Az április-májusi nagy tiszai árvíz kialakulásához az intenzív hóolvadás, a jelentős mennyiségű csapadék, a mellékfolyók egyidejű áradása és a Duna visszaduzzasztó hatása is hozzájárult. A VITUKI március elején, a 2006 tavaszán várható lefolyási viszonyokról kiadott tájékoztatója felhívta a figyelmet számottevő árhullám kialakulásának a veszélyére, de megbízható numerikus időjárás-elrejelzés hiányában rendkívüli árvíz lehet ségére nem figyelmeztetett.

Kulcsszavak

hóvastagság, hóvízgyeenérték, hófelhalmozódás, hóvízkészlet, olvadás, lefolyás, vízállás-elrejelzés.

Main characteristics of snow conditions affecting the development of the major Tisza River flood in the spring of 2016

Abstract

Ten of the biggest floods of the last century in the Tisza Basin were significantly influenced by snowmelt. Due to the temperature differences of varying sea level height, in parts of the catchment area snowmelt induced floods used to develop in the Tisza River when the melting water is supplemented by significant amounts of rain, which happened in the spring of 2006. Snow depth data for 552 monitoring points are available for the winter of 2005-2006, with Snow Water Equivalent (SWE) values provided by 66 stations, 14% of which are in elevated areas (above 600 meters). The weather of the examined winter period was not extreme, but the relevant snowy months of January, February and March were colder than average. December, February, March and April brought above average precipitation, January was average, whereas October and November were drier than the average. Precipitation exceeded the average by 10% in the entire October – April period, while March and April were in excess of 40%. Snowing started in the higher mountains after the 10th October and melted in May resulting in 200-300 snow covered days. In the lower mountains and hills snowing started around the 10th November and melted in the last ten days of March resulting in 100-150 snow covered days. On the plains snow cover appeared in the last ten days of November and melted between 10-20 March with 30-80 snow covered days. The number of snow covered days was over average, but below the long term maximum. Maximal snow depth in the highest areas was 100-150 cm (145 cm on 17 February at Biharfüred), in the lower mountains and hills it was 20-100 cm, while 10-30 cm on the plains (35% below the long term records) (Table 1). Maximums of SWE were observed in the largest area between 10-20 February (Figure 4), but in large area peaked in the last ten days of December and March. In the highest areas the maximums varied between 200-350 mm (Jezer 385 mm), in the lower mountains and hills between 30-300 mm, on the plains between 20-60 mm. These values, in average, hardly differed from the long term maximums. In the Tisza Basin, above Szeged, between mid-December and end of April the snow water volume consistently and significantly exceeded the long term average, the 7.28 billion maximum m³ however, it remained 14% below the maximum of 1998-1999 (Figure 6). The air temperature rose by 15 degree Celsius during March leading to a daily melt rate of 15 mm/day, even reaching 50-60 mm in some locations. With regards to national reporting and forecasting on the build-up and melting of snow FETIVIZIG (locally) and VITUKI (on national level) reports have to be mentioned. They released five-days and weekly snow bulletins over the winter (Figure 10). VITUKI's early March bulletin regarding the expected flow rates did warn of a significant flood risk, however, due to the lack of reliable numerical weather forecasts, it did not foresee a major flood. In summary: in the 2005-2006 winter season preceding the great flood on the Tisza River above average but not extreme volumes of snow melted intensely, which started in the last ten days of March. The flow rate was further increased by heavy rains, exacerbated by simultaneous flooding of several tributaries of the Tisza River and the backwater effect of the Danube River.

Keywords

Snow depth, snow water equivalent, snow build up, snow water volume, melting, discharge, water level forecasts

BEVEZETÉS

A 2006 tavaszán levonult nagy tiszai árvizek kialakulásakor már részletesebb vizsgálatok hiányában is egyértelmű volt, hogy táplálásában jelentős szerepe volt a hóból származó olvadékvíznek. Korábbi megállapítások szerint (FETIVIZIG, 1996), a Felső-Tiszán és mellékfolyóin tisztán hóolvadásból jelentős árhullám nem keletkezhet, mivel a nagy magasság különbségek miatt egyszerre csak ritkán alakul ki a teljes vízgyűjtőre kiterjedő nagy intenzitású hóolvadás. Ezt a megállapítást támasztja alá az is, hogy a Duna és a Tisza vízgyűjtő területein a csapadék tevékenység nélküli tiszta olvadás esete nagyon ritka, az eseteknek csak 10-12 %-át teszik ki (Takács, 1993). December-márciusi időszakban tehát, az árhullámok szinte kizárólag vegyes keletkezésűek, csak kivételes időjárási körülmények között származhatnak tisztán hóolvadásból.

Az utolsó 100 év legnagyobb tiszai árvizei közül az 1879. évi, az 1888. évi, 1895. évi, 1919. évi, 1932. évi, 1941. évi, 1947/48. évi, 1984/85. évi jelentős részben hóolvadásból keletkezett (Szlávik, 2003a). Az 1999. márciusi árvíz kivételesen döntően, a 2000. áprilisi tiszai árvizek jelentős mértékben, a 2001. márciusi árhullám pedig, csak kisebb mértékben tekinthető hóolvadásból keletkezett árvíznek (Konecsny, 2003 és 2004a; Szlávik, 2003b).

Magyarországon a Duna vízgyűjtő hóviszonyainak klimatológiai vizsgálatát Kéri (1952), és Péczely (1966, 1971) végezték el. A VITUKI-ban 1963-1973 időszakra vonatkozó országos hó-adatgyűjtemény, majd hidrológiai értékelés készült (Kovács, 1979). A Duna vízgyűjtő és ezen belül a Tisza hófelhalmozódási és hóolvadási folyamatának modellezését Gauzer (1990, 1991), majd a vízkészletek csapadékból történő rácsponstos számítógépes meghatározásának módszertanát Gauzer és Bartha dolgozta ki (2005). Az utóbbi években az országhatárokkal osztott Felső-Tisza teljes vízgyűjtő területén egy-egy jellemző téli időjárás- és a sokévi hófelhalmozódást és hóolvadást jellemző hidrológiai sajátosságait is vizsgálták (Konecsny, 2004a és 2006; Konecsny és Lucza, 2005).

A TISZAI HÓVISZONYOKAT BEFOLYÁSOLÓ TERMÉSZETFÖLDRAJZI ÉS ÉGHAJLATI JELLEMZŐK

A Tisza forrásától a Dunába torkolásáig (Titel) 964 km hosszú, 157.200 km² vízgyűjtő területtel rendelkezik és öt országra terjed ki: Ukrajna/Kárpátalja 12.800 km² (8,1 %), Románia/Erdély 71.300 km² (45,4 %), Szlovákia/Felvidék 16.000 km² (10,2 %), Magyarország/Alföld és Északi-középhegység 47.000 km² (29,9 %), Szerbia/Vajdaság 10.100 km² (6,4 %) (Andó 2002). A teljes vízgyűjtő terület vízrajzi szempontból a következő nyolc nagyobb részvízgyűjtőre tagolható: Felső-Tisza (13.173 km²), Szamos-Kraszna (19.024

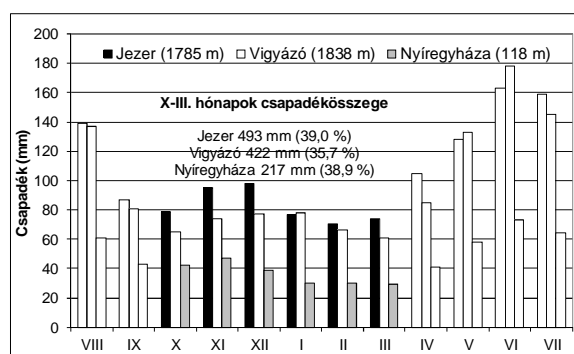
km²), Bodrog (13.579 km²), Sajó-Hernád (12.708 km²), Zagyva-Tarna (5.676 km²), Körösök (27.537 km²), Maros (30.332 km²), Béga (5.377 km²).

A vízgyűjtő terület magassági övezetek szerinti megoszlása: 1200 m feletti magashegység 1 %, 600-1200 m középhegység 21 %, dombvidék 32 %, síkság 46 % (Somogyi, 1961).

A magasságkülönbségek miatt jelentősek a sokévi átlagos léghőmérsékleti különbségek is. A magasabb hegyvidékeken a sokévi éves átlagos hőmérséklet 3-5°C, a síkvidéken 10-11°C.

A csapadék területi eloszlása egyenetlen. A legcsapadékosabb térség a kárpátaljai Tarac és Talabor völgyek felső szakasza. Itt a csapadék sokévi átlaga meghaladja az 1500 mm-t. Erdélyben csapadékos a Gutin, Lápos, Avas, a Kelemen-, és Görgényi-havasok, valamint a Bihar hegység nyugati-déli-nyugati lejtője (1000-1400 mm). Az Alföld mellett csapadékszegények (550-650 mm), a nedves légáramlatok elkerülő Körösmezője, Máramarosi-, Gyergyói-medence, és az Erdélyi-fennsík.

Az Alföldön, a téli félévi (október-március) sokéves átlagos területi középértéke 200 mm körüli, a Kárpátokban 450-500 mm. Akárcsak a téli összeg, külön-külön a december, január, február hónapok esetében is a Kárpátokban nagyobbak a csapadékmennyiségek (1. ábra).



1. ábra. A sokévi átlagos csapadék alakulása három állomásnál (Konecsny, 2006)

Figure 1. Long-term average precipitation of three stations (Konecsny, 2006)

Sokévi átlagban a hólepcsőségi arányszám a Tisza Bodrog torkolatáig terjedő szakaszán 22-30 %, a Bodrog alatti mellékfolyókó vízgyűjtő területén már csak 15-20 % (Péczely 1971).

Nyáron, a Kárpátokban, 2000 m szintig általában nem havazik, ettől feljebb azonban az év bármely időszakában lehetséges szilárd csapadék. 1800 m felett októbertől február második feléig a csapadék csak szilárd halmazállapotban fordul elő (Bázác, 1983).

A hónap az árvizek kialakulására gyakorolt hatását jellemzi, hogy pl. a Felső-Tiszán a november-április között - amikor az árhullámok és a hóolvadás együttes hatásaként jönnek létre - keletkezik az évi tetővízállások 77-80 %-a (Illés és Konecsny, 2001).

A 2005-2006. TÉLI IDÉNY HÓVISZONYAIT BEFOLYÁSOLÓ ID JÁRÁS FÉLJELLEMZÉSE

A vizsgált vízgyűjtő terület legnagyobb részén a hó október-április időszakban van jelen, ezért az időjárási jellemzőket is erre az időszakra vonatkozóan tekintettük át, de ezen belül elsősorban a hófelhalmozódás és olvadás szempontjából legfontosabb január-április hónapokra összpontosítottunk.

2005. október és november hónapok középhőmérséklete nem tért el jelentősen a sokévi átlagtól, a csapadék mennyisége viszont kisebb volt az átlagtól. November csapadékosabb második felében havazott először (Schlanger, 2006a). Decemberben a sokéves átlagnál némileg magasabb hőmérsékletek voltak, január és február viszont az egész vízgyűjtőn jóval hidegebb volt az átlagosnál. A 2005. december 1-től 2006. február 28-ig terjedő időszakban a Tisza tokaji vízgyűjtőjére, 173 mm, a szegedi vízgyűjtőre, 150 mm, csapadék hullott. Ezek az értékek meghaladják az elmúlt 20 év átlagértékeit (163 mm és 124 mm), azok 106 %, illetve 121 %-a. December nagyon csapadékos volt, a szegedi vízgyűjtőn csaknem kétszerese esett a sokévi átlagértéknek. Januárban kevés csapadék volt, a február pedig, lényegében átlagosan csapadékosnak bizonyult. Az időjárásra vonatkozó adatokat az elmúlt évekkel összehasonlítva, a Tisza Tokaj feletti vízgyűjtőjén az elmúlt öt év szárazabb éveivel, a szegedi vízgyűjtőn pedig az elmúlt öt év csapadékos éveivel hasonló mennyiségű csapadék hullott. Február 28-ig a Tisza vízgyűjtő területén, elsősorban a délkeleti vízgyűjtőkre (Körösök, Maros) csapadékos időjárása következtében, az átlagosnál több csapadék hullott (VITUKI, 2006).

2006 márciusában ugyan a napi átlag alatti hőmérsékletben nem voltak szélsőségesen alacsony értékek, de elhúzódott a tél (Kalmárné, 2006). Az év első két hónapjához hasonlóan, március is több mint 1 °C-kal hidegebb volt a sokévi átlagnál. Országsszerte 15-20 nap volt fagyos. Március csapadékösszege mintegy 20%-kal haladta meg a sokévi átlagot (Schlanger 2006/b). A március közepén bekövetkezett fokozatos felmelegedés hatására a hótakaró elolvadt. A külföldi vízgyűjtő részen a legtöbb volt, és közel 40 %-kal csapadékosabb volt az átlagnál (Schlanger, 2006b). A 2005 november és 2006 áprilisa közötti időszak csapadék mennyisége átlag feletti volt (VITUKI, 2006).

A HÓ FELHALMOZÓDÁSA ÉS OLVADÁSA A 2005-2006. TÉLI IDÉNYBEN

A határvízi adatcsere szabályzatok korszerűsítésének és kiegészítésének, a partnerigazgatóságok közvetlen nemzetközi kapcsolatainak fejlődése,

illetve szakembereink erőfeszítéseinek köszönhetően, az utóbbi másfél évtizedben - ha vannak is hiányosságok - sokat javult a külföldi vízgyűjtő részekre vonatkozó adatokhoz való hozzáférés.

A Tisza vízgyűjtő területén, 2006 tavaszán mintegy 650 állomás végzett hőméréseket, melyeknek 2/3-a a külföldi vízgyűjtő részekén: Ukrajna (5 %), Románia (44 %), Szlovákia (17 %), Magyarország (33 %), Szerbia (1 %). Vizsgálatunkban adathiányok miatt ennél kevesebb, 552 állomás adatát tudtuk felhasználni, (1 állomás 285 km²-enként), míg a hóvízgyengénkénti adatok mindössze 66 állomásról álltak rendelkezésünkre. Ennél a paraméternél az is gondot jelent, hogy nem azonos napon végzik a méréseket (Ukrajnában és Romániában ötnaponként, Szlovákiában és részben a magyarországi üzemi állomásoknál hetenként). Az állomások tengerszint feletti magasság szerinti eloszlása azt mutatja, hogy - a hólelektől lefolyás mennyiségének szempontjából legjelentősebb - a vízgyűjtő terület 22 %-át kitevő 600 m feletti hegyvidéki állomásainak részaránya alig 14 %. Az állomások 86 %-a jellemzően kisebb hóvízkészletű síkvidékeken, dombvidékeken található.

Áttekintve a hótakarás napok számát, az Alföldön 30-70 nap, a dombvidékeken és középhegységekben 70-150 nap, az 1200 m-nél magasabb hegységekben 200-300 nap a sokévi átlag.

A 2005/2006. téli időjárásban, pl. Vigyázón október 17-én, a Jezerén október 18-án jelent meg az első hótakaró. A középhegységekben október végén (Biharfűred X.18.) míg novemberben (Garamf XI.18., Kékestető XI.19.) jelentették az első hótakaró napot. Az Erdélyi fennsíkon és a Felvidéken november 19-e és 22-e között alakult ki először a hóréteg.

A hólelektől való távozás átlagos időpontja a 2005/2006. időjárásban, síkvidéken március 15-17. között, a dombokon és középhegységekben március 11-30. közé esik, a magashegyi állomásoknál ezek az időpontok mintegy 2-3 hónappal később, Jezerénél, a Vigyázón és Biharfűreden májusban, az Omul csúcson júliusban, a Lomnici csúcson szeptemberben következtek be. A legtöbb esetben sokévi átlagot meghaladó vagy átlaghoz közeli volt a hótakarás napok száma. Így Maroshévíznél (Toplita) 36 nappal, a Lomnici csúcson 27 nappal, Sztrópkónál 24 nappal, Dévánál 22 nappal volt hosszabb az átlagnál. Jezerén és az Omul csúcson viszont 45 nap, illetve 9 nap az elmaradás az átlaghoz viszonyítva.

A legnagyobb hótakarás napszám természetesen a hegyekben volt kimutatható: Lomnici csúcs 338 nap, Omul csúcs 263 nap, Jezer 246 nap, Vigyázó 218 nap, Biharfűred 194 nap, Kékestető 148 nap, Garamf 145 nap. A dombvidékeken és alacsonyabb hegyeken 80-130 nap közötti értékeket, a síkvidéken 30 és 80 nap közötti értékeket jeleztek.

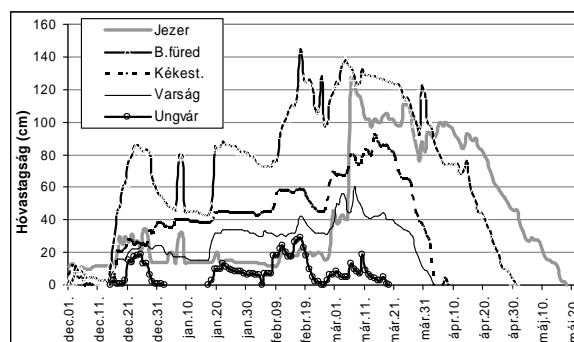
Hóvastagság

A hazai területre, a sokévi közepes hóvastagság 5-20 cm között, a maximális 30-100 cm között változik. A dombvidékeken és középhegységekben 5-25 cm közötti a jellemző sokévi átlagos hóvastagság, kiemelkedően csapadékos területeken azonban 50-70 cm is lehet. Az 1000 m feletti szinteken 30-100 cm a leggyakoribb érték. A Tisza vízgyűjtő területén a maximális 300 cm hóvastagságot az 1108 m tengerszint feletti magasságon lévő Biharfürednél mérték (2000.I.22.) (1. táblázat).

A hazai csúcstartó a Kékestető állomás 94 cm-el (2005.II.24.). A Dél-Alföldön 30 cm-re csökken a sokévi maximum. A legnagyobb havi átlagérték bekövetkezési ideje, szintén a tengerszint feletti magassággal arányosan, időben áthúzódott a síkvidéken jellemző januárról, a hegyvidéken jellemző februárra, illetve márciusra, sőt a legmagasabb csúcsok esetében májusra.

2005 december és 2006 március között minden hónapban volt valahol időnyeli maximum. A legnagyobb területi kiterjedése a februári és márciusi maximumoknak volt, szokatlan módon hegyvidéki és síkvidéki területeken egyaránt. A hóvastagság a hegyvidéken nagy volt, de nem érte el a sokévi maximumot. A 2005. december 31-i adatok alapján, az 1350 m magasan lévő Pláji meteorológiai állomásnál már

ekkor 42 cm, a 800 m-el alacsonyabb szinten lévő Oroszmokrán és Alsókalocsán 46 cm-t, illetve 43 cm-t mértek.



2. ábra. A hóvastagság napi alakulása 2005 december-2006 április között

Figure 2. Daily snow depth data between December 2005 and April 2006

A romániai Runku-gátnál 60 cm, Kapnikbányán (Cavnic) 49 cm, a Vigyázó hegyen 1400 m magasságban lévő állomásnál 38 cm. Ezt követően 2006 január közepéig folyamatosan vékonyodott majd egy hónapra keresztül ismét vastagodott a hóréteg (2. ábra).

1. táblázat. A sokévi közepes és maximális hóvastagság, illetve a 2005/2006 időnyben mért értékek

Table 1. Long term average and maximum snow depth, and selected daily measured values in the 2005/2006 season

Állomás	Hóvastagság (cm)										
	Sokévi		2005/2006.								
	Átlag	Max./Dátum	XII.31.	I.20.	II.20.	III.05.	III.15.	III.25.	IV.05.	IV.15.	Max./Dátum
Rahó	23	104/87.I.31	28	31	37	50	50	37	0	0	62/III.10
Jezer	28	143/95.IV.14	13	20	20	87	100	110	100	92	127/III.06
Oroszmokra	55	175/99.II.25	46	51	57	85	88	67	30	a.h	109/III.10
Kolozsvár	5	35/95.XI.08	0	lep	Folt	lep	0	0	0	0	13/ III.01
Kapnikbánya	67	138/05.III.15	49	52	64	81	84	62	a.h	a.h	89/ XII.25
Ungvár	12	65/99.II.20	3	13	17	8	8	0	0	0	29/II.17
Lomnici csúcs	99	370/95/IV.15	227	209	199	180	174	150	171	171	258/ I.03
Garamf	15	104/05.III.14	60	65	75	83	96	81	28	folt	97/ III.11
Sztropkó	8	57/00.I.27	8	9	23	17	13	0	0	0	33/ II.18
Kékestető	19	94/05.II.24	38	44	52	70	88	65	0	0	92/III.14
Vigyázó	17	63/97.IV.18	19	19	23	20	21	27	13	9	60/ II.10
Biharfüred	44	300/00.I.22	57	84	126	135	127	115	80	66	145/ II.17
Marosvásárhely	5	29/00.I.27	5	7	11	4	0	0	0	0	28/ II.17
Székelyudvarhely	6	40/00.I.27	1	11	11	10	0	0	0	0	24/ II.17
Omu csúcs	42	265/97.IV.18	72	90	90	98	100	124	133	126	134/IV.06

Február 10-e és 20-a között mérték az időny legnagyobb hóvastagságát Biharfüreden 145 cm/II.17, Plájon 76 cm/II.18. Szintén februárban mérték a maximális hóvastagságot Kárpátalján (Ungvár 29 cm/II.17.), a Felvidéken (Sztropkó 33 cm/II.18.), az Erdélyi-medencében (Dés 29 cm/II.17., Székelyudvarhely 24 cm/II.17.) és hazai területen is, Miskolcon (19 cm/II.18.) és Debrecenben (10 cm/II.11.). Március folyamán, az alacsonyabb vízgyűjtő részekben gyors ütemben csökkent a hó, 15-25-ig általában már nem volt mérhető hóvastagság. A hegyvidéken azonban több állomásnál márciusban mérték

az időny legnagyobb értékeit, Vigyázó 1400 m 133 cm/III.05., Jezer 127 cm/III.06. Április elejéig már csak néhány 1000 m tszf. magasságon lévő állomásnál maradt meg a hó, április 5-én Jezeren 100 cm, Biharfüreden 80 cm, Vigyázó 1400-nál 66 cm, Oroszmokrán 30 cm, Plájon 22 cm volt a hóvastagság.

Hóvízgyenyérték

A síkvidéki vízgyűjtő részen a hóvízgyenyérték sokévi közepes értéke 10 mm és 40 mm között változik, a sokévi maximumok 30 mm és 130 mm közötti és többnyire február hónapban következnek be. A

dombvidékeken és a hegyekben 30 mm és 200 mm közötti értékek a jellemzők (2. táblázat). A Tisza vízgyjt legnagyobb hóvízegyenérték maximumai a hegyvidékeken voltak, ezek közül is kiemelked a kárpátaljai Pláj hegyen mért 596 mm (2002.III.05.). Szintén nagy sokévi maximumokat jeleztek Oroszmokráról (419 mm), Kapnikbányáról (388 mm), Biharfüredről (337 mm).

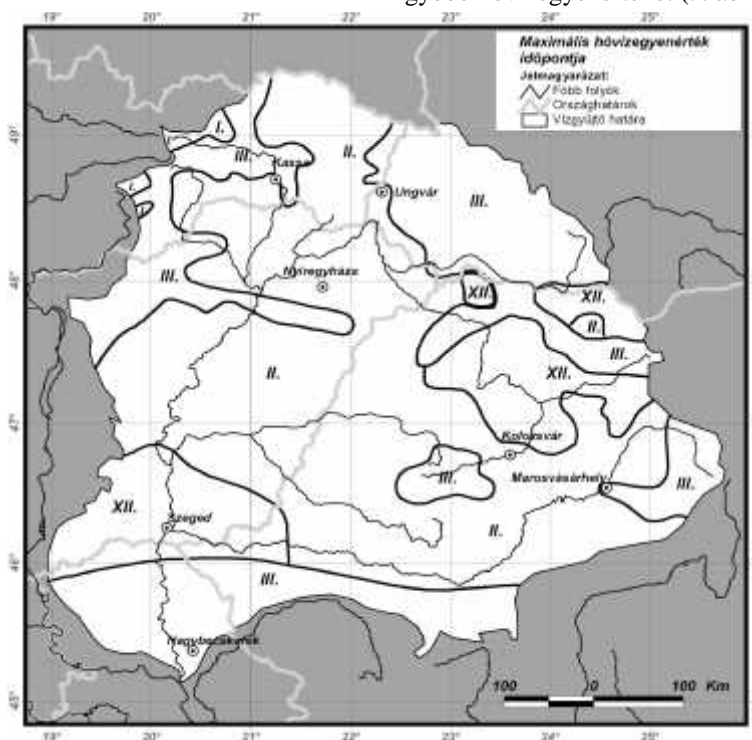
2005. december 31-én a Tisza Tiszabecs feletti vízgyjt jén 40 mm körüli területi átlag hóvízegyenérték volt. Az 1130 m magasan lévő Pláj meteorológiai állomásnál 91 mm, a 600 m-el alacsonyabb szinten lévő Alsókalocsán 30 mm-t mértek.

A 2006. január 15-i mérési adatok alapján a Tisza Tiszabecs feletti vízgyjt jén átlagosan 33 mm volt a hóvízegyenérték. Az 1350 m magasan lévő Pláj meteorológiai állomásnál már ekkor 134 mm, a 800 m-el alacsonyabb szinten lévő Oroszmokrán 124 mm.

A romániai Lápos vízgyjt ben lévő Kapnikbányán 123 mm, a Vigyázó hegyen 1400 m magasságban lévő állomásnál 114 mm. Ezt követően

2006. január közepéig folyamatosan csökkent a hóvízegyenérték, majd a január III. dekádjában és februárban észlelt újabb havazások után ismét nőtt. Ebben az időszakban mérték az idényben a legnagyobb értékeket, a Vigyázó 1800 m csúcson (210 mm/II.10.) és számos sík- és dombvidéki állomásnál. Március 5-ét követően a síkvidéki és dombvidéki vízgyjt gyors ütemben csökkent a hóvízegyenérték, de a hegyvidéken több állomásnál ebben az időszakban mérték a maximális értékeket (2. táblázat): Jezer 385 mm/III.10., Biharfüred 381 mm/III.15., Vigyázó 1400 m 348 mm/III.25, Pláj 302 mm/III.10. Áprilisban már csak néhány 1000 m feletti magasságon lévő állomásnál maradt meg a hó, majd április végéig gyakorlatilag teljesen elolvadt.

A maximális hóvízegyenérték bekövetkeztének időpontja a vízgyjt legnagyobb részén februárban volt, a Szamos-völgy nagyobb részén és a Dél-Alföldön 2005. december végén, néhány szlovákiai hegyvidéki állomásnál januárban. A magasabb hegyekben viszont március folyamán észlelték a legnagyobb hóvízegyenértéket (3. ábra).

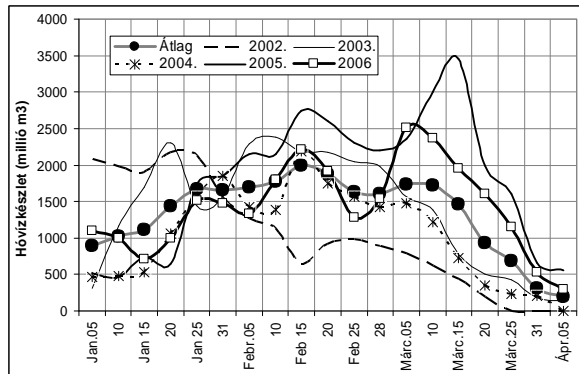


3. ábra. A maximális hóvízegyenérték bekövetkeztének időszaka a 2005/2006 téli idényben
Figure 3. Occurrence of maximum Snow Water Equivalent (SWE) in winter 2005/2006

Március I. dekádjában volt a teljes vízgyjt területére vonatkozó legnagyobb területi átlagérték. Ekkor még a síkvidéki és dombvidéki állomásoknál is 1-20 mm közötti hóvízegyenértéket észleltek, a hegyvidéken viszont 50-200 mm közötti értékek voltak jellemzők. A legnagyobb, 200 mm feletti értékek Kárpátalja hegységeiben, a Gutin-hegység, a Radnai-havasok, illetve a Bihar-hegység térségében voltak.

A hóban felhalmozódott vízkészlet ismerete elsősorban az olvadás kezdetének időszakában fontos, az esetlegesen kialakuló árhullámok víztérfogatának

becsléséhez, elrejelzéséhez. A nagyobb(-), árvízi veszélyhelyzetet okozó vízgyjt vízkészletének meghatározására vonatkozó számítások a folyók felső külföldi szakaszára, és a hazai folyószakaszokra egyaránt készülnek. Hazánkban a Vízügyi Igazgatóságok közül elsősorban a nyíregyházi Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (FETIVIZIG), valamint a VITUKI Kht. keretében működő Országos Vízügyi Szolgálat (VITUKI-OVSZ) végzett rendszeresen hóvízkészlet számításokat.



4. ábra. Az ötnaponkénti mérések alapján számított hóvízkészletek a Tisza Bodrog torkolat feletti vízgyjtén 2002/2003-tól 2005/2006-ig terjedő téli időnyekben

Figure 4. Five-day snowpack measurements in the Tisza catchment area above the Bodrog confluence during winters from 2002 till 2006

Hóvízkészlet

A FETIVIZIG-nél a Felső-Tisza vízgyjtén hó formájában felhalmozódott vízkészlet becslésével kapcsolatos tevékenység már hosszú évtizedekre nyúlik vissza, azonban korábbi években, a kevés külföldi hóadat miatt csak hozzávetőleges becslésre volt lehetőség. Az 1999. februári nagy hóhullást követően, és különösen 2002-től a külföldi adatokhoz való hozzáférés feltételeinek javulása miatt hatékonyabbá vált ez a tevékenység.

A számítások a Tisza Tiszabecs, Szamos Csenger, Túr Garbolc, Kraszna Ágerd major, Tisza Vásárosnamény, Tisza Tokaj (Bodrog torkolat feletti) szelvényekre, valamint a FETIVIZIG m ködési területére vonatkozóan ötnaponként készültek. Az összegyűlt

tapasztalatok alapján a következő megállapítások tehetők (Konecsny, 2006):

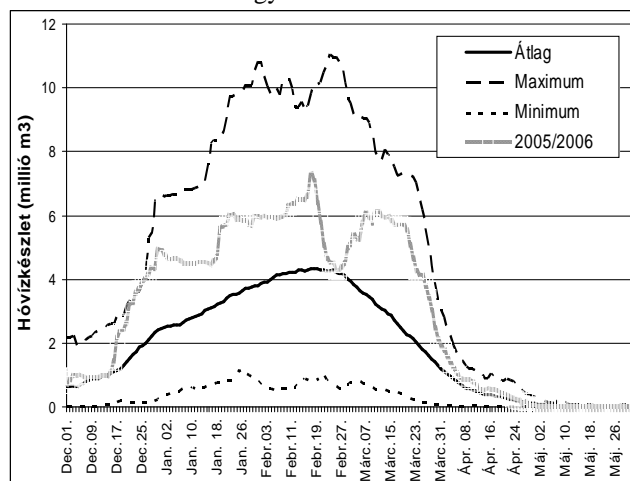
- a hegyvidéken felhalmozódott hó olvadásából a folyókon, a tél folyamán bármikor kisebb-nagyobb vízszintemelkedések következhetnek be, de a számottevő árhullámot kiváltani képes hóvízkészlet február-márciusra alakulhat ki;

- jelentős hófelhalmozódás esetén, a legnagyobb hóvízkészletek úgy a Tisza Tiszabecs, mint a Szamos országhatár feletti vízgyjtén egyenként legfeljebb 1-1,5 milliárd m^3 -t érnek el, így a Tisza Bodrog torkolat feletti vízgyjtén területen maximálisan 3-3,5 milliárd m^3 hóvízkészlet alakulhat ki;

- az idény maximális hóvízkészlete időben sokszor akkorra jön létre, amikor az olvadás miatt az Alföldön már alig van vagy már nincs is hótakaró;

- a hóvízkészlet menetgörbéjében a lehulló csapadék és az olvadás függvényében, időben lehet egy, de több másodlagos maximális érték is.

A Felső-Tiszán a 2005/2006. téli idényben négy hóvízkészlet csúcs alakult ki, december végén, január végén, február közepén, és március elején (4. ábra). Ezek között kisebb hóvízkészlet időszakok voltak, de a négy csúcs értéke decembertől márciusig folyamatosan nőtt. 2005. december 31-én Tisza Bodrog-torkolat feletti vízgyjtén lévő hóréteg víztartalma 1,62 milliárd m^3 volt (Lucza, 2006). Január első felében lecsökkent 0,71 milliárd m^3 -ig, majd január 31-ére 1,48 milliárd m^3 -re, február 15-ére pedig 2,21 milliárd m^3 -re nőtt. Átmeneti csökkenés után, havazás miatt, március 5-én az idény legnagyobb hóvízkészletét, 2,51 milliárd m^3 -t észlelték. Ezt követően, március 31-én 526 millió m^3 , április 5-én 298 millió m^3 , majd április 10-én 66 millió m^3 -re csökkent (www.fetivizig.hu).



5. ábra. A hóvízkészlet alakulása a 2005/2006 idényben a Tisza szegedi vízgyjtén területén, a sokéves átlag, minimális és maximális értékekkel (VITUKI, 2006 adatai alapján)

Figure 5. Snowpack evolution during the 2005/2006 season on the catchment related to the Szeged cross-section of the Tisza River, showing also long term average as well as minimum and maximum values (Source: VITUKI, 2006)

A hófelhalmozódás és -olvadás folyamatának nyomon követése a VITUKI-OVSZ adatszolgáltató és

elrejelző tevékenysége szempontjából egyaránt alapvető jelentőségű volt, ennél fogva már sok éve folytak

ilyen jellegű, a Duna medence egészére, tehát a Tisza teljes hazai vízgyűjtő területére is vonatkozó számítások (Gauzer, 1990.).

A 2004-2005-ös téli időszak a hóvízkészlet értékeinek a meghatározását a VITUKI-OVSZ-nél is a meteorológiai észlelőhelyek hóvastagság és a szórónyosan előforduló hóvízgyeenérték észlelései alapján végezték, amely azonban csak erősen korlátozott pontosságú számításokat tett lehetővé. A VITUKI-OVSZ által kifejlesztett ún. „rácsponthi” módszer szerint (Gauzer-Bartha, 2005), a meteorológiai állomások észleléseit egy, az orográfikus hatásokat figyelembevev algoritmus segítségével, az ALADIN meteorológiai előrejelző modell rácsmátrójával megegyező, 0,1x0,1 földrajzi fokos rácsmátró pontjaira interpolálták. A csapadék, léghőmérsékleti szélsőértékek, szélsebesség adatok interpolálására került sor. Mivel a hóvastagság adatok közvetlenül nem interpolálhatóak, a rácsponthiakra vonatkozó hóvastagság és hóvízgyeenérték adatok modellezett értékeiket állítják elő, a Tisza vízrendszerének 1161 pontjára vonatkozóan. Ezek alapján végzik a hóvízkészlet értékének a meghatározását. A számítások a Tisza vízrendszerének kilenc részvízgyűjtőjére naponta készültek, és az eredmények 2006 végéig a vízügyi szervezetek számára is elérhetőek voltak.

A nagyobb mennyiségű információ, illetve a bonyolultabb számítási módszerek az eredmények pontosabbá válását eredményezték. Ezek azt mutatják, hogy a „régibb”, a hóvastagság és hóvízgyeenérték észleléseken alapuló eljárás az esetek többségében alulbecsli a hóban tárolt vízkészlet értékét.

A Tisza Szegedig tartó vízrendszerét vizsgálva megállapíthatjuk, hogy 2005/2006 telén, az átlagosnál több csapadék és az átlagosnál hidegebb időjárás következtében, az átlagosnál több hó halmozódott fel. A hóban tárolt víz mennyisége 2005. december 31-ig elérte a 4,85 milliárd m³-t. Ezután 2006. január 16-ig kismértékben, 4,46 milliárd m³-re csökkent, majd január 23-ra 6,03 milliárd m³-re növekedett. A maximális érték február 17-én következett be 7,28 milliárd m³-el, ami jelentősen, 4,03 milliárd m³-el maradt el az 1999. évi maximális értéktől (11,31 milliárd m³/1999.02.22), annak 64 %-a. Átmeneti csökkenés után, a február végi, március eleji havazások következtében március 11-re 6,11 milliárd m³-re ismét nőtt. Ettől kezdve lényegében folyamatos volt az olvadás, és április 5-re 1,02 milliárd m³ lett a hóvízkészlet, majd május 1-re a teljes vízgyűjtő gyakorlatilag hómentessé vált (5. ábra).

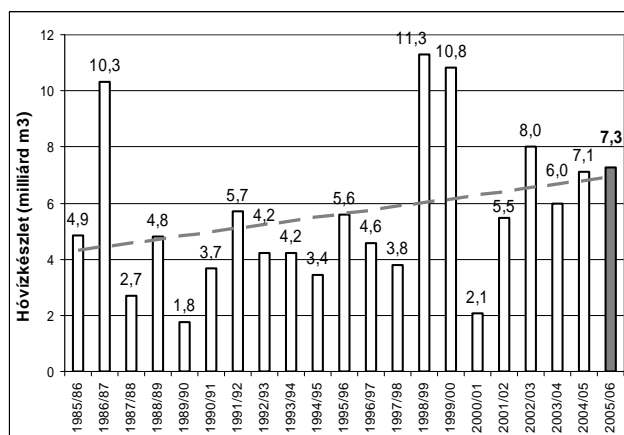
2. táblázat. A sokévi közepes és maximális hóvízgyeenérték, illetve a 2005/2006 idény mért értékei

Table 2. Long term average and maximum Snow Water Equivalent and the observed values in the 2005/2006 season

Állomás	Hóvízgyeenérték (mm)										
	Sokévi		2005/2006								
	Átlag	Max./Dátum	XII.31	I.20.	II.20.	III.05.	III.15	III.25.	IV.05	IV.15	Max./Dátum
Rahó	60	277/87.II.05	81	71	115	130	170	115	0	0	180/III.10
Jezer	72	220/02.III.15	-	38	53	87	357	385	-	-	385/III.10
Oroszmozokra	162	419/99.II.28	124	128	148	221	290	248	132	30	294/III.10
Pláji	135	596/02.III.05	134	163	224	284	244	237	97	70	302/III.10
Beszterce	33	63/03.II.10	36	12	20	14	0	0	0	0	36/XII.31
Kapnikbánya	177	388/05.III.15	123	146	166	269	260	198	-	-	269/III.05
Ungvár	34	124/99.II.20	-	17	56	13	19	0	0	0	56/II.20
Garamf	-	68/03.II.10	117	145	142	116	134	154	-	-	154/III.25
Sztropkó	-	32/03.II.10	20	-	18	45	38	0	0	0	45/III.05
Kékestető	74	228/84.III.02.	86	127	154	195	251	195	0	0	263/III.14
Vigyázó 1800	52	99/04.III.15	57	38	60	60	67	84	-	-	210/II.10
Vigyázó 1400	204	395/05.III.15.	114	226	249	333	313	348	(200)	(150)	348/III.25.
Biharfűred	-	337/02.III.05	-	290	-	-	381	311	-	-	381/III.15
Bányahavas	-	142/02.II.05	54	95	89	197	212	174	-	-	212/III.15
Székelvárság	-	-	39	55	95	136	119	88	0	0	136/III.05

Összehasonlítva az 1999., 2005. és 2006. tavaszi időszakokat, az olvadás megindulásának időpontjában hóban tárolt vízkészleteket, a legtöbb vízgyűjtőn, beleértve a teljes szegedi vízgyűjtőt is, a hóban felhalmozódott víz mennyisége 2006. tavaszán volt a legkisebb. Jelentősen elmaradt nem csak az 1999. évi, de a két északi vízgyűjtő kivételével a 2005. tavaszi értéktől is. tavaszihoz, de az azt megelőző húsz évben nem alakult ki ilyen helyzet.

Az elmúlt 20 év Tisza-Szeged szelvényre vonatkozó idényenkénti hóvízkészlet maximumok idősorát vizsgálva, megállapítható, hogy a legnagyobb érték 1998/1999 (11,3 milliárd m³), 1999/2000 (10,8 milliárd m³) és 1986/1987 (10,2 milliárd m³) idényekben következett be. A 2005/2006 idénybeli 7,28 milliárd m³-es maximum a nagyságrendi rangsor ötödik helyét foglalja el. Az idősor emelkedő lineáris trendet jelez, tehát az utóbbi évek téli idényeinek maximális hóvízkészlete számottevően nőtt (6. ábra).



6. ábra. Az időnyenkénti maximális hóvízkészlet a Tisza Szeged feletti vízgyjt területén 1985-2006 között (VITUKI 2006 adatai alapján)

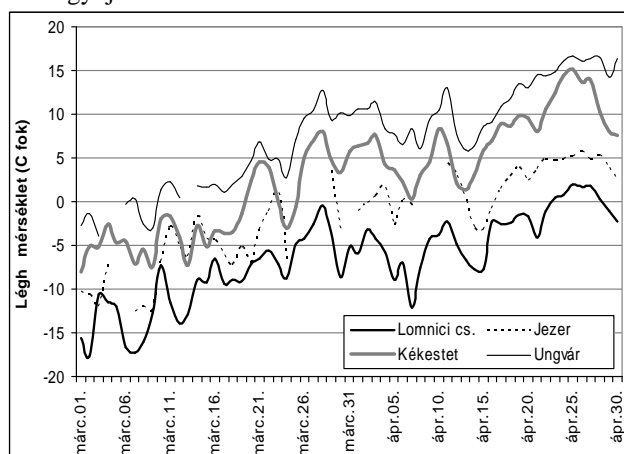
Figure 6. Seasonal maximum snow water volumes of the Tisza catchment area above Szeged between 1985 and 2006 (based on VITUKI, 2006)

A HÓOLVADÁS ÉS AZ EBB L KIALAKULT FELSZÍNI LEFOLYÁS

Az olvadás és a párolgás révén, a hazai vízgyjt - részén márciusra a hőmennyiség általában lényegesen megcsappan, máskor még jelent s mennyiségben van jelen. A Kárpátokban ez a folyamat, jellemzően április hónapra, a legmagasabb hegyekben májusra-júniusra is áthúzódhat. A csapadékos teleket követ hirtelen olvadás esetén nagy az árvíz kialakulásának valószínűsége, különösen azért, mert - amíg a nyári esők jellemzően kisebb göcökre korlátozódnak - a hóolvasás a vízgyjt területének nagy részén általános, ráadásul, a térségben, a felmelegedési folyamatot - még ha a csapadék mennyisége kevés is - szinte minden esetben csapadéktevékenység kíséri, vagy vezetibe (Takács 1993).

A 2005/2006. téli időny hófelhalmozódási és hóolvasási időszakában a Tisza vízgyjt különböző ré-

szein más-más tengerszint feletti magasságon lévő állomások március-április havi napi átlagos léghőmérsékleteinek alakulását vizsgálva, megállapítható, hogy a hőmérséklet igen intenzíven, mintegy 15°C-kal emelkedett. Ez a hőmérsékletemelkedés a síkvidéki és hegyvidéki állomásokon egyaránt bekövetkezett, amellett, hogy az értékekben jelent s különbség adódott. A Kárpátokban 2000-2600 m magasságban (pl. Lomnici csúcs) -15°C-ról 0°C-ra, 1800 m körül (Jezer) -10°C-ról +5°C-ra nőtt a léghőmérséklet. Míg a síkvidéken már március elejét jellemzően fagypont feletti hőmérsékleteket mértek, és március utolsó dekádjában 10°C feletti napi átlagok is megjelentek, az 1700 m-el magasabban lévő Jezer állomásnál április II. dekádjáig még elfordultak 0°C alatti átlagok (7. ábra).



7. ábra. A léghőmérséklet alakulása az árhullámok kialakulásának időszakában

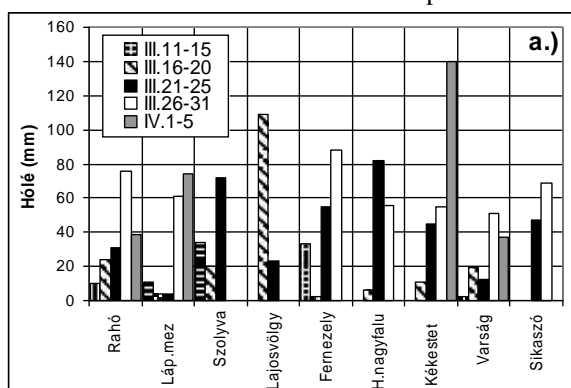
Figure 7. Air temperature changes during the development of flood waves

A hóolvasást kiváltó pozitív napi átlagos hőmérsékletek a síkvidéken március I. dekádjától, a dombvidéken és középhegységeken március III. dekádjától

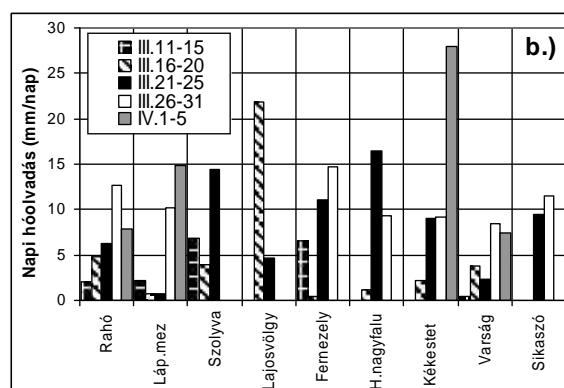
jelentkeztek. A hóolvasás ötnaponkénti legnagyobb értékei a dombvidékeken és középhegységeken, március 10-20. között 10-30 mm-re tehető, március

21-25. és március 26-31. között 20-80 mm az ötnaponkénti hóvízgyenérték adatokból számított átlagos napi olvadási intenzitások esetenként meghaladták a 15 mm/napot (8. ábra). A Mátrában lévő napi adatokkal rendelkező állomásoknál 50-60 mm/nap intenzitás is előfordult.

A gyors olvadás következtében keletkezett hó mellett a lefolyás kialakulásában fontos szerep jutott az időszakban regisztrált viszonylag jelentős esneknek. Március és április hónapokban a sokévi átlagnál szinte mindenhol 10-50 %-kal több csapadék hullott.



A hóolvadás időszakában, a legtöbb es március 23-án, 31-én, április 1-én, 4-7-én, 12-17-én hullott. A napi maximális csapadékösszeg meghaladta a 30 mm-t, sőt helyenként a 60 mm-t is (pl. Biharfüreden március 30-án). A VITUKI adatai alapján, részvízgyűjtőnként összesítve a március 25-április 20. időszakban a Körösökön 155 mm csapadék volt, a Szamos-Krasznán 135 mm, a Maroson 113 mm, a Felső-Tiszán 106 mm, a Bodrogon 91 mm, a Sajó-Hernádon 72 mm.



8. ábra. Az ötnaponként elolvadt hó mennyiségének (a) és az olvadás napi intenzitásának (b) alakulása 2006. március 11 és április 5 között

Figure 8. Five-day snow melt by a) volumes and b) daily intensity between 11 March and 5 April 2006

A Hargita hegységben-, a Nagy-Küküllő (a Maros mellékfolyója), Székelyvarság állomás adatai azt mutatják, hogy a gyors felmelegedést követően legintenzívebb olvadás napjaiban számottevő, és formájában jelentkező csapadéktevékenység is bekövetkezett, ami a hó mellett hozzájárult a lefolyás növekedéséhez. Március 20-án, Székelyvarságon 100 mm hóvízgyenértéket mértek, ami április 5-ig olvadt el. Március 21. és április 5. között, a 100 mm hóléhez 59 mm es adódott, tehát összesen 159 mm víz került a rendszerbe, amelynek egy része a Nagy-Küküllő táplálta, másik része elpárolgott, beszivárgott a talajba.

A vízgyűjtő terület 1000 m feletti részein számottevően, akár 2-3-szor nagyobb hóvízgyenérték lehetett, mint az alig 700 m-es szinten lévő Székelyvarságon, hiszen a vizsgált 15 nap alatt lefolyt vízmennyiség 190 mm volt (31 mm-el több mint a számított vízbevitel). Ha 0,45-0,50 lefolyási tényezőt feltételezünk, a Nagy-Küküllő-Székelyvarság feletti vízgyűjtő területén a hó és eső összege elérhette a 380 mm-t.

Ezzel egy időben, ehhez hasonló, sőt helyenként szélsőségesebb hidrometeorológiai és vízjárási helyzet alakult ki a Tisza vízgyűjtőjén szinte mindegyik hegyvidéki részvízgyűjtőjében és ez az egyidejűség nagymértékben hozzájárult a folyó középső és alsó-, illetve szakaszán az eddigi maximális vízszinteket meghaladó tetőzés árvíz kialakulásához. A Felső-Tiszán március 29-31-én, a Szamoson március 30-31-én, a Bodrogon március 30-április 6. között, a Körösökön március 30-április 2., a Maroson március 30-április 2. között ész-

lelték a maximumokat. A Tisza középső és alsó szakaszán április 8. (Tokaj) és április 22. között (Szeged és Szolnok) voltak a vízállás tetőzések.

TÁJÉKOZTATÁSI ÉS ELREJELZÉSI TEVÉKENYSÉG

A hatékony árvízvédekezés egyik alapvető feltétele az, hogy időben készüljenek tájékoztatók, figyelmeztetések, riasztások, hidrológiai előrejelzések a várhatóan kialakuló veszélyhelyzetről.

Az érvényes Árvízi Hidrometeorológiai Szabályzat (ÁHSZ) előírásai szerint, a Tisza vízrendszer folyóira vonatkozó tetőzési előrejelzésekről a területileg illetékes vízügyi igazgatóságok (VIZIG) a felelősek, míg a folyamatos lefolyás előrejelzés a VITUKI Országos Vízjelző Szolgálat feladata. Az alábbiakban röviden összefoglaljuk a fentiekkel összefüggő tevékenységeket, szem előtt tartva azt, hogy az árvíz alatt kiadott előrejelzések elemzése és értékelése kívül esik vizsgálódásunk keretein.

A hazai mérési adatok, és a nemzetközi adatcsere szabályzatok alapján megérkező ukrán, román, szlovák állomások adatai, valamint esetenként az informális úton beszerezett adatokat felhasználva, a VIZIG-ek vízrajzi csoportjai, a mérési napot követő napon készítenek hótájékoztatót. A FETIVIZIG vízrajzi csoportjánál, ahol már évtizedek óta folynak hóvízkészlettel történő előrejelzést célzó vizsgálatok, az utóbbi években a hóadatok területi eloszlását, szöveges tájékoztat-

tó mellett, ötnaponként kiadott térképeken is ábrázolják.

Sajnos jelenleg csak becsülni lehet a hóolvadásból kialakuló árhullám lefolyó víztömegét, tet z vízhozamát és vízszintjét. Meg kell várni, a folyók fels szakaszán kialakuló árhullámok tet z vízszintjeit és csak ezután készülhet - legfeljebb 1-2 napos id el nyel - a meglév regressziós összefüggéseket felhasználó programcsomaggal, tet z vízállás el rejelzés a hazai folyószakaszokra. Így a 2006. március és április hónapokban levonult árvíz idején a FETIVIZIG, de a többi érintett igazgatóság is naponta készített hidrológiai helyzetértékelést és el rejelzést tet z vízállásokra, de csak a folyók fels szakaszán bekövetkezett tet zéseket követ en.

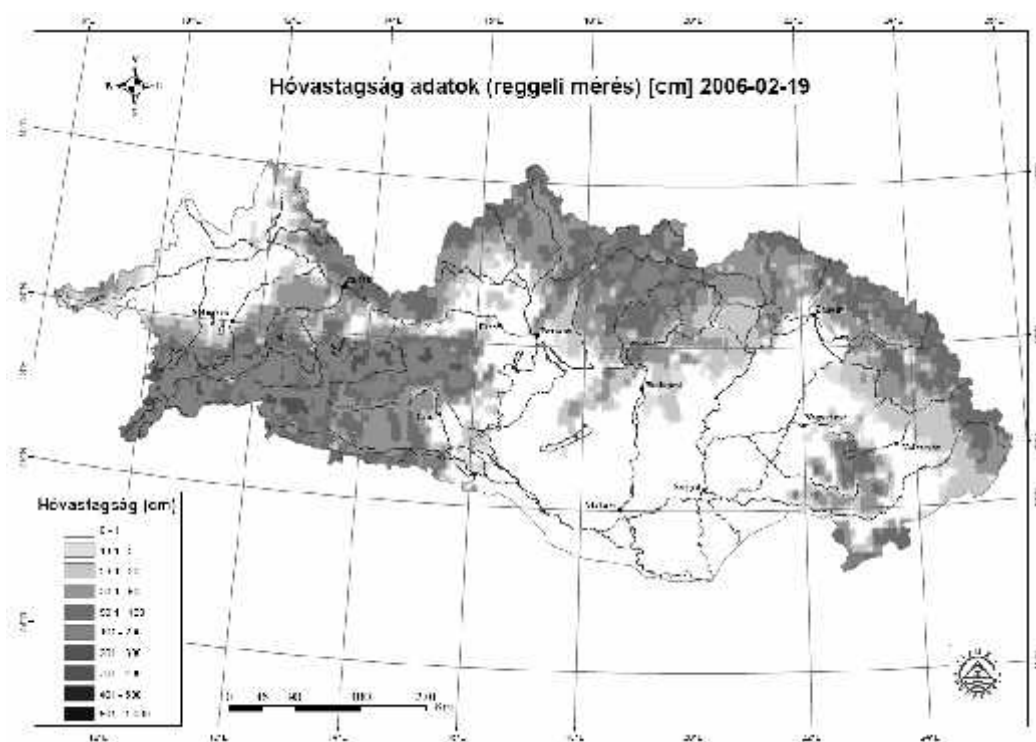
A VITUKI a teljes Tisza vízgy jt re vonatkozó tájékoztató és el rejelz tevékenységét az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- Naponta készültek a Tisza vízrendszerének kilenc részvízgy jt jére végzett hóvízkészlet számítások (az eredményeket 2006 végét l a VIZIG-ek FTP szerveren voltak érhet ek).

- Hetente készültek és kiadták az ú.n. Hótérképet, amely teljes Duna-medence aktuális hóviszonyainak térképes ábrázolásán túl, a Tisza szegedi vízgy jt jére vonatkozó részletes numerikus adatokat és grafikonokat is tartalmazott (www.hydroinfo.hu).

- Minden év március 1-én elkészültek és közreadták a Tavasz Lefolyási Tájékoztatót, a vízgy jt k hóviszonyainak március 1.-i állapotáról és a tavasszal várhatóan lefolyó víztömeg és maximális vízállás értékeire vonatkozóan (www.hydroinfo.hu).

A teljes Duna medence hóviszonyainak megjelenítésére a 9. ábrán látunk példát, ahol, hóvastagság 2006. február 19-én érvényes értékei láthatók.



9. ábra. A Duna-medence hóviszonyai a rácsponti számítások alapján 2006. február 19-én (VITUKI, 2006)

Figure 9. Snow volumes of the Danube Basin based on grid point forecasts on 19th February 2006 (VITUKI, 2006)

A 2006. évi Tavasz Lefolyási Tájékoztatóban március 1.-én leírtakat elemezve - amikor is a kiadvány felhívta ugyan a figyelmet egy jelent s árhullám kialakulásának a szokottnál nagyobb esélyére, de a bekövetkezett széls séges helyzet lehet ségével nem számolt. Megállapíthatjuk, hogy a március 1.-i állapotok alapján, megfelel pontosságú és id el ny numerikus meteorológiai el rejelzése híján, a tavasz id szak (a tájékoztató kiadását követ három hónap) lefolyási viszonyainak a számszer jellemzése csak er sen korlátozott pontossággal lehetséges, a tájékoztató el rejelzési része a tavasz id szakban bekövetke-

z , jelent s hóhányaddal bíró árhullám kialakulásának a valószínűségét hivatott felmérni. Ráadásul, 2006 tavaszán, a március els felében kialakult meteorológiai helyzet (a hosszútávú meteorológiai el rejelzésekben jelzettnél hidegebb és csapadékosabb id , illetve további jelent s hófelhalmozódás), jelent s hatással volt a tavasz id szak lefolyási viszonyaira.

Az el relépéshez, a hóban tárolt vízkészlet minél pontosabb meghatározásán túl, s t, azt megel z en, a numerikus meteorológiai el rejelzések pontosságának és id el nyének a növekedése szükséges.

A VITUKI által kifejlesztett Operatív Lefolyás Szimulációs és Elrejelzési Rendszer (OPEL RE) rendelkezik hómóduállal, vagyis képes a vízgyjtön végbemen hófelhalmozódási és –olvadási folyamatok kielégítő pontosságú nyomon követésére. Az olvadási idszakban végbemen folyamatok azonban további bizonytalansági tényezőt jelentenek az elrejelzés szempontjából, illetve ilyen esetekben, a megbízható meteorológiai elrejelzések jelentősége a szokottnál is nagyobb.

Az árvíz teljes idszaka alatt, a VITUKI naponta kiadta a következő 6 napos idszakra vonatkozó, a Tisza vízrendszerének 59 hazai folyószelvényét magába foglaló vízállás elrejelzéseit. Ezen kívül, az Országos Meteorológiai Irányító Törzs (OMIT) felkérésére, tetézési elrejelzésekkel is támogatta a védekezés döntéshozóinak a munkáját.

ÖSSZEFOGLALÁS

A Tisza vízgyjt területére vonatkozóan a 2005/2006. téli idény hóviszonyainak jellemzőit végzett vizsgálatunk eredményeit a következőkben foglaljuk össze:

- Korábbi évek tapasztalatai szerint, a különböző tszf. magasságú vízgyjt részek eltérő mérsékleti viszonyai miatt, hóolvadásból nagy árvíz a Tiszán az esetek döntő részében akkor alakul ki, ha az olvadákvízhez, eső formájában lehulló számottevő mennyiség csapadék is hozzájárul, amint az 2006 tavaszán is történt;

- A vizsgált idszakban, összesen 552 állomásra vonatkozóan volt lehetőség értékelni hóvastagság adatahoz hozzájutni, de a hóvízgyenérték esetében csak 66 állomás adata volt hasznosítható. Az állomások mindössze 14 %-a található hegyvidéken (600 m felett); szükség lenne a mérési helyek magassági eloszlásának és a nemzetközi adatforgalom további javítására, valamint a hóvízgyenérték mérések idpontjának összehangolására;

- 2005/2006 telén az idjárás nem volt szélsőséges, azonban a hófelhalmozódás szempontjából fontos január, február és március hónapok átlagosnál hidegebb idjárásúak voltak. December, február, március és április az átlagosnál csapadékosabb, január átlagosan csapadékos, október és november pedig az átlagosnál szárazabb volt. A teljes október-április idszakot tekintve, alig 10 %-os de ezen belül március és április hónapban 40 %-os volt az átlaghoz viszonyított csapadéktöbblet.

- A hó a magasabb hegyekben október hónap II. dekádjában jelent meg és májusban tűnt el. Itt a hótakaró napok száma 200-300 között volt. A középhegységekben és dombvidékeken november II. dekádjában jelent meg, és március hónap III. dekádjában tűnt el a hó. A hótakaró napok száma 100-150 körüli volt. A síkvidéken az első hótakaró november hónap III. dekádjában jelent meg, és március hónap II. dekádjában tűnt el. A hótakaró napok száma 30-80 nap között

volt. A hótakaró napok száma átlagosnál nagyobb volt, de elmaradt a sokévi maximumoktól;

- A hó maximális vastagsága a magasabb hegyekben 100-150 cm (Biharfüred 145 cm/február 17.), a középhegységekben és dombvidékeken 20-100 cm, a síkvidéken 10-30 mm között változott. Ezek átlagosan 35 %-al maradtak el a sokévi maximumoktól;

- A hóvízgyenérték maximális értékének bekövetkezési idpontja a legnagyobb területen február II. dekádjára, de elég nagy területen márciusra, illetve december III. dekádjára esett. A magasabb hegyekben a maximum 200-350 mm (Jezer 385 mm), a középhegységekben és dombvidékeken 30-300 mm, a síkvidéken 20-60 cm között változott. Ezek az értékek átlagosan alig tértek el a sokévi maximumoktól;

- A Tisza szegedi szelvénye feletti vízgyjt területén december közepétől április végéig a hóvízkészlet folyamatosan és számottevően meghaladta a sokévi átlagot, de a februári 7,28 milliárd m³ maximum 14 %-kal elmaradt az 1998/1999. idénybeli legnagyobb értéktől;

- A léghőmérséklet március folyamán mintegy 15°C-kal emelkedett, ezt követően a napi olvadási intenzitás meghaladta a 15 mm/napot, és a helyenként az 50-60 mm-t is elérte;

- A hófelhalmozódásra és hóolvadásra vonatkozó tájékoztatói és elrejelzési tevékenység tekintetében hazai viszonylatban a FETIVIZIG (helyi szinten), és a VITUKI (országos szinten) tevékenysége emelhető ki. A 2005/2006-os téli idényben önaponta, illetve hetente készítették a tájékoztatókat a hóviszonyokról;

- A VITUKI által március elején, a 2006 tavaszán várható lefolyási viszonyokról kiadott tájékoztató felhívta a figyelmet ugyan számottevő árhullám kialakulásának a veszélyére, de megbízható numerikus idjárás elrejelzés hiánya miatt rendkívüli árvíz lehetett ségére nem figyelmeztetett;

Röviden összefoglalva, a 2005/2006. téli idényben a nagy tiszai árvíz kialakulását megelőző hóviszonyok nem voltak rendkívüliek. A sokévi átlagot meghaladó, de nem szélsőségesen nagymértékű hófelhalmozódás után, március utolsó harmadától az intenzív hóolvadás által okozott lefolyás mértékét, a jelentős mennyiségű csapadék is növelte, amelyhez sok mellékfolyó egyidejű áradása és a Duna visszaduzzasztó hatása is hozzájárult.

IRODALOM

Andó M. (2002): *A Tisza vízrendszer hidrogeográfiája*. SZTE Természetföldrajzi Tanszék Szeged. pp. 168.

Băzâc, Gh.C. (1983): *Influența reliefului asupra principalelor caracteristici ale climei României*. Edit. Academiei RSR. București. 1983.

FETIVIZIG (1996-2006): Havi idjárás és vízrajzi tájékoztatók. FETIVIZIG Nyiregyháza.

FETIVIZIG-VIZITERV (1996): A Fels -Tiszai árvízvédelmi rendszer fejlesztése. Megalapozó tanulmány. Budapest-Nyíregyháza.

Gauzer B. (1990): A hóolvadás folyamatának modellezése. Vízügyi Közlemények. LXXII. évf. 3. füzet. pp 272-286.

Gauzer B. (1991): A hófelhalmozódás és olvadás folyamata a Duna vízgyjtjén. Egyetemi doktori ért. BME.

Gauzer B., Bartha P. (2005): Rácsvont meteorológiai információk felhasználása az Országos Vízügyi Szolgálat tevékenységében. Vízügyi Közlemények LXXXVI. évf. 2005. évi 1. füzet.

Illés L., Konecsny K. (2001): Az árhullám hidrológiai jellemzése. In: Az 1998. novemberi fels -tiszai árvíz (könyv). FETIVIZIG-VIZITERV Nyíregyháza-Budapest. p. 13-75.

Kalmár Györgyné (2006): Néhány szó a tavaszról. Légkör. 51 évf. 2. sz. pp. 26-27.

Kéri M. (1952): Magyarország hóviszonyai. OMI Hivatalos Kiadványai 7. szám. Bp..

Konecsny K. (2003): Az 1998-2001. évi árvizes id szak hidrológiai értékelése a Fels -Tiszán. Hidrológiai Közlemények 83. évf. 2. szám.

Konecsny K. (2004a): Az árvíz hidrológiája. In: A 2001. márciusi fels -tiszai árvíz cím könyv II. fejezete. FETIVIZIG-VIZITERV KFT Nyíregyháza.

Konecsny K. (2006): A hóviszonyok jellemzői és vízjárás befolyásoló hatása a Fels -Tiszán. Hidrológiai Közlemények 86. évf. 1. szám január-február. pp. 45-62.

Konecsny K., Lucza Z. (2005): A hófelhalmozódás és olvadás jellemzői a Fels -Tiszán 2005. január-április id szakban. MHT XXIII. Országos Vándorgyűlés - eladás (CD). Nyíregyháza 2005. júl. 6-7.

Kovács Gy. (szerk.) (1979): A hófelhalmozódás, a hóolvadás és a hóból származó lefolyás tér- és időbeli változékonysága Magyarországon. VITUKI Közlemények. Bp.

Lucza Z. (2006): A 2006. évi ár- és belvíz elzáró. Fels -Tisza Híradó. Nyíregyháza. XLV. évf. 3. sz.

Péczely Gy. (1966): A hótakaró gyakorisága Magyarországon. OMI Hivatalos kiadványai, 9. szám. Bp., 1966.

Péczely Gy. (1971): A felszíni vízbevitel rendszere a Duna fels és középs vízgyjtjén. OMSZ kisebb kiadványai 37. szám. Bp.

Schlanger Vera (2006a): 2005. év idjárása. Légkör. 51 évf. 1. sz. pp. 26-30.

Schlanger Vera (2006b): 2006 tavaszának idjárása. Légkör. 51 évf. 2. sz. pp. 39-40.

Somogyi S. (1961): Tájékoztató adatok a Duna vízgyjtjének magassági övezetek szerinti megoszlásáról, a Tisza torkolatáig. Földrajzi Közlemények. 4. sz. pp. 374-378.

Szlávik L. (2003a): Az árvízvédelmi biztonság elemzése. VITUKI Rt. Bp., pp. 326.

Szlávik L. (2003b): A 2001. évi fels -tiszai árvíz kialakulása és hidrológiai sajátosságai. A 2001. évi árvíz. Vízügyi Közlemények különszám, III. kötet. pp. 13-34.

Takács Ágnes (1993): Árvizek keletkezése. Britmagyar árvízvédelmi Szakmai M hely. Bp. 1993. sz. 6-10. pp. 103-112.

VITUKI-ATIVIZIG (2006): Integrált vízháztartási tájékoztató és elrejelzés. 2005. okt.-2006. ápr.

SZERZŐK ADATAI



osztályának vezetője, végül vízügyi tervezőmagánként hidrológus szakértője volt.

DR. GAUZER BALÁZS - okl. vízépítésmérnök - 1981-ben végzett a BME vízépítésmérnöki szakán, egyetemi doktori címét 1991-ben

DR. KONECSNY KÁROLY – geográfusi és hidrológusi tanulmányait követően PhD tudományos fokozatát 1997-ben szerezte az „Erdélyi fennsík és a hozzátartozó hegyvidékek vízháztartása” című értekezésével. Nyugdíjazásáig, vízügyi igazgatóság vezetőhidrológusa, vízrajzi csoportvezetője, a VITUKI tudományos osztályvezetője, az országos vízügyi hatóság vízügyi szakértője és elnöke volt.

szerezte „A hófelhalmozódás és -olvadás folyamata a Duna vízgyjtjén” c. értekezésével. 1981-2012 között a VITUKI, 2012-től

az Országos Vízügyi F igazgatóság dolgozója. Legfontosabb tevékenysége az Országos Vízügyi Szolgálat számítógépes hidrometeorológiai adatfeldolgozó rendszerének kifejlesztése, karbantartása, folyamatos továbbfejlesztése.

VARGA GYÖRGY – 1982-ben végzett az ELTE TTK térképész, hidrológus szakán. 1982. szeptember és 2012. július között a VITUKI-ban dolgozott, 2012. augusztustól az Országos Vízügyi F igazgatóságban dolgozik. Szakterületei: a felszíni hidrológia (csapadék, párolgás, lefolyás) hidrometeorológia, tóhidrológia (vízháztartás, vízszintszabályozás). Az ELTE TTK c. egyetemi docense, a vízföldrajz és hidrológia tantárgyak oktatója.

110 éves hosszúságú hidrometeorológiai adatsorok ciklikus paramétereinek vizsgálata

Ilyés Csaba*, Turai Endre** és Szűcs Péter***

*Miskolci Egyetem Miskolci Földtudományi Kar Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Egyetemváros

(E-mail: hgilyes@uni-miskolc.hu)

**Miskolci Egyetem Miskolci Földtudományi Kar Geofizikai és Térinformatikai Intézet, 3515 Miskolc, Egyetemváros

(E-mail: gfturai@uni-miskolc.hu)

***MTA-ME Miskolci Földtudományi Kutatócsoport, 3515 Miskolc, Egyetemváros

(Email: hgszucs@uni-miskolc.hu)

Kivonat

A földi vízkörforgalomban igen fontos szerepe van a periodikus jelenségeknek. Vízgazdálkodási szempontból igen nagy jelentősége lehet, ha sikerül kimutatni a szélsőséges időjárási viszonyok periodikus hidrológiai jelenségekre kifejtett hatását. Éves, havi és napi csapadékösszegeket használva, azok idősorából ciklikus paramétereket határoztunk meg négy különböző meteorológiai állomásra az ország teljes területén. Ezen periodikus komponensek felkutatásához 110 évnél hosszabb időszorból meghatároztuk a frekvencia függvényében az amplitúdó és fázis szög paramétereket a Fourier-transzformáció egy analitikus változatát használva. Az eredményeket ezután mind külön-külön, mind együtt vizsgálva meghatároztunk domináns és mellékciklusokat az idősorokban, továbbá a Kárpát-medencét jellemző, regionális ciklusokat is feltártunk. A napi adatokat felhasználva az egy éves ciklus hosszának és amplitúdójának változását vizsgáltuk, illetve a legnagyobb periódus idővel rendelkező ciklus változásait is elemeztük. Az elemzés során egyértelműen kimutattuk az éves és féléves periodicitást a csapadék időbeliségében, majd további ciklusokat kutattunk fel, úgy mint az éves adatok elemzésénél a legnagyobb amplitúdóval rendelkező 5 éves, illetve a legnagyobb periódusidővel rendelkező 12 éves ciklust. Az eredmények alapján a legnagyobb periódusidejű ciklus hossza és amplitúdója egyértelműen csökkent a vizsgált időintervallumban.

Kulcsszavak

csapadék, ciklusok, spektrális elemzés, klímaváltozás, Fourier-transzformáció

Examination the cyclic parameters of 110 year long hydrometeorological datasets

Abstract

In the hydrological cycle of the Earth, the periodic components play an important role. It could be a great importance for groundwater management reasons to get to know better the cyclic properties of the meteorological extremes, which affect the hydrological cycle. The cyclic parameters of the annual, monthly and daily precipitation data have been calculated from precipitation data of four different meteorological stations in Hungary. The cycle parameters of these datasets were determined from 110 year long precipitation datasets, such as the frequency, amplitude and phase angle with an analytic version of Discrete Fourier-Transformation. The values obtained for the four stations have been compared, and regional or national cycles have been defined for the Carpathian-basin. Using the daily datasets, examination of the changes in the 1 year cycle and the changes of the longest cycle (cycle with the longest period of time) have been carried out. In our examination we showed the presence of one year long and half year long cycles as well as the third most dominant 5 year and the 12 year cycles, the longest periods. Our research revealed that the time period and the amplitude of the longest cycle have significantly decreased.

Keywords

precipitation, cycles, cyclic parameters, spectral analysis, climate, Fourier-transformation

BEVEZETÉS

A Földön nagyságrendileg $400\,000\text{ km}^3$ mennyiség víz vesz részt a számos periodikus jelenséget mutató víz körforgalomban évente, amire hatással van a változó klímánk, illetve az ezzel együtt jelentkező meteorológiai szélsőségek (Szűcs, 2012).

Magyarországon az ivóvíz 95%-a felszín alatti vízádókból kerül kitermelésre, így egy változó klíma, és akár egy kis változás a víz körforgásában hatással lehet ezekre a vízádókra és azok utánpótlási viszonyaira is. Ezért ezen hatások és következmények vizsgálata igen fontos vízvédelmi és vízgazdálkodási kérdés az egész Kárpát-medencében.

A közelmúltban a Víz Világtanács (World Water Council) számos tanulmányban figyelmeztetett, hogy

a víz körforgásában változások tapasztalhatóak, a hidrológiai ciklusok rövidülnek. Az extrém meteorológiai események száma várhatóan növekedni fog, a száraz és csapadékos időszakok jobban elkülönülnek egymástól. A száraz évszakokban hosszabb csapadéktelen időszakokat prognosztizálnak, míg a csapadékos évszakban a csapadékesemények intenzitásában várható változás. A rövid idő alatt lezúduló nagy mennyiségű csapadékok számának növekedése várható, ami a beszívargási kapacitás maximuma miatt a lefolyást fogja növelni, így összességében a talajvíztükröt elérő víz mennyisége csökkenni fog (Szöllősi-Nagy, 2015).

A Miskolci Egyetemen számos kutatás során vizsgáljuk különböző hazai mintaterületeken a szélsőséges időjárási viszonyok hatásait és a beszívargás folyama-

tát, az abban történő időbeli változásokat. A klímaváltozás talajvízes rendszerekre történő hatását környezeti izotópos vizsgálatokkal elemezték 60 éves idő távra nézve (Szűcs *et al.*, 2015), míg a csapadék és talajvízállás időbeli változását a Bükk hegységben vizsgálták. Utóbbi vizsgálatok kimutatták, hogy míg a sokéves átlagok közel azonosak, a minimum és maximum karszt vízszint értékek távolsága az utóbbi időben megnövekedett (Szegediné *et al.*, 2015).

A hidrológiai idősorok vizsgálatára számos módszer létezik, úgy, mint Fourier-transzformáció alapuló Lomb-Scargle periodogram (Kovács *et al.*, 2010), vagy a Wavelet időszелеzés módszer (Nason és Sachs, 1999), illetve az analitikus diszkrét Fourier-transzformáció alapuló spektrális vizsgálat. A kutatásunk során mi az utóbbit használtuk, amellyel korábban már eredményesen vizsgálták a Bükk-Mátra hegységek hosszú idejű csapadék idősorait (Kovács és Turai, 2014a).

A hazai vízrajzi tevékenység a világ élvonalába tartozik. A korábbi kutatásokat alapul véve így 110 éves hosszúságú csapadék idősorokat vizsgálhattunk négy magyarországi nagyvárosból (Budapest, Debrecen, Pécs, Szombathely). Az elemzéshez a diszkrét Fourier-transzformáció alapuló spektrális elemzés módszerével az éves, havi és napi adatsorok periodikus komponenseit kerestük.

AZ ALKALMAZOTT MÓDSZER ELMÉLETI ALAPJA

A hosszú idejű megfigyeléseken alapuló hidrometeorológiai adatsorok idősoroknak tekinthetők, így különböző idősor elemzéses módszerekkel vizsgálni lehet azokat.

A módszerek két irányvonal mentén találhatók meg. Az egyik a klasszikus statisztikai trendanalízis (Mosteller és Tukey, 1977), a másik a bonyolultabbnak tekinthető spektrális elemzés. E két módszer kiegészíti egymást, mivel a trendanalízis a hosszú távú lineáris változást vizsgálja, addig a spektrális elemzés a periodikus, ciklikus komponenseket keresi egy adott idősorban. Spektrális elemzés során harmonikus függvényekkel leírható ciklikus komponenseket tudunk kimutatni.

Mivel látható, hogy ezen csapadék idősorok nagyszámú periodikus komponens is tartalmazhatnak, ezért a diszkrét Fourier-transzformáció alapuló spektrális elemzési módszert választottuk (Meskó, 1984; Panter, 1965). Az analitikus Fourier-transzformáció harmonikus függvényekkel számolva adja meg a komplex Fourier-spektrumot $F(f)$, amely egy valós és egy képzetes részből áll. A valós rész az alábbi összefüggéssel írható fel:

$$\text{Re}[F(f)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cos(2\pi ft) dt \quad (1)$$

A képzetes részt az alábbi összefüggés adja:

$$\text{Im}[F(f)] = - \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \sin(2\pi ft) dt \quad (2)$$

A komplex Fourier-spektrum a két rész alábbi komplex összegzésével adható meg:

$$F(f) = \text{Re}[F(f)] + j \cdot \text{Im}[F(f)] \quad (3)$$

Az $F(f)$ komplex Fourier-spektrum felírható exponenciális alakban is, két új valós spektrum megadásával:

$$F(f) = A(f) e^{j\phi(f)} \quad (4)$$

Ahol az $A(f)$ spektrumot amplitúdó spektrumnak, míg a $\phi(f)$ spektrumot fázisspektrumnak nevezzük. A két új valós spektrum a valós és képzetes spektrumok segítségével felírható az alábbi módon:

$$A(f) = \sqrt{\text{Re}^2[F(f)] + \text{Im}^2[F(f)]} \quad (5)$$

$$\phi(f) = \arctg \frac{\text{Im}[F(f)]}{\text{Re}[F(f)]} \quad (6)$$

Az amplitúdó spektrum az adott frekvenciájú komponensek súlyát adja, míg a fázisspektrum az adott frekvenciájú komponensek maximum helyének a regisztrátumok kezdőpontjától számított időbeli eltolódásokból határozható meg, ezen eltolódások és az adott periódusidő arányát képezve.

Az általunk bevezetendő relatív amplitúdó spektrum ($AY(T)_{\max}$) a különböző periódusidejű komponensek amplitúdó értékeit hasonlítva össze a fellelhető legnagyobb amplitúdó értékkel. Az így bevezetett relatív amplitúdó spektrum megmutatja, hogy a különböző periódusidejű ciklusok amplitúdója hány százaléka a maximális amplitúdónak.

A spektrális elemzéseknek két különböző megközelítése van. Az egyik a determinisztikus, a másik a sztochasztikus, amikor véletlennek tekintjük a jelet (Candy, 1985).

Alapvetően a földi meteorológiai folyamatok sztochasztikusak, azonban vizsgálatunknál mi úgy közelítjük meg, hogy a természeti törvényszerűségek által befolyásolt determinisztikus komponenseket kívánjuk feltárni az idősorokban.

EREDMÉNYEK

A hosszú idejű meteorológiai adatsorokat az Országos Meteorológiai Szolgálat online adatbázisából (OMSZ, 2015) nyertük, amely öt magyarországi nagyváros meteorológiai idősorait tartalmazza, többek között napi, havi és éves csapadékösszegeket. A kiválasztott városok különböző földrajzi környezete jól szemlélteti és reprezentálja a Kárpát-medence időjárását. Mivel Budapest közép-magyarországi város a

medence közeps területének csapadékviszonyait reprezentálja, Debrecen az Alföld területén, az ország keleti végén található, Pécs a medence déli szélén, az Adria felől nyitott területeket jellemzi, míg Szombathely az Alpok keleti végének, egyben az ország nyugati területeinek csapadékviszonyait mutatja be. Az adatbázisban fellelhető még Szeged állomás adatai is, ami Dél-Magyarország csapadékviszonyainak jellegzetességeit mutathatta volna be, azonban másfél éves adathiány miatt a vizsgálatból kizárásra került.

Az elemzés során az 50%-nál nagyobb relatív amplitúdó spektrummal rendelkező periódusok f ciklusként, míg a 20 % (néhány esetben 10%) és 50 % közöttiek mellékciklusként lettek meghatározva.

Éves csapadékösszegek

A vizsgálat során először az éves csapadékösszegek idősorában kerestünk ciklikus paramétereket. Az 1901 és 2010 közötti regisztrációs időszak hossza $T_{reg}=110$ év, a mintavételi köz 1 év, így 110 adat található a négy adatsorban. A Nyquist frekvencia 2 év (Meskó, 1984), az ennél rövidebb periódusidővel rendelkező ciklusok spektrális elemzéssel nem mutathatók ki éves adatsorból. Az elvégzett spektrális elemzés segítségével kimutatott fő és mellékciklusok periódusideit és relatív amplitúdóit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

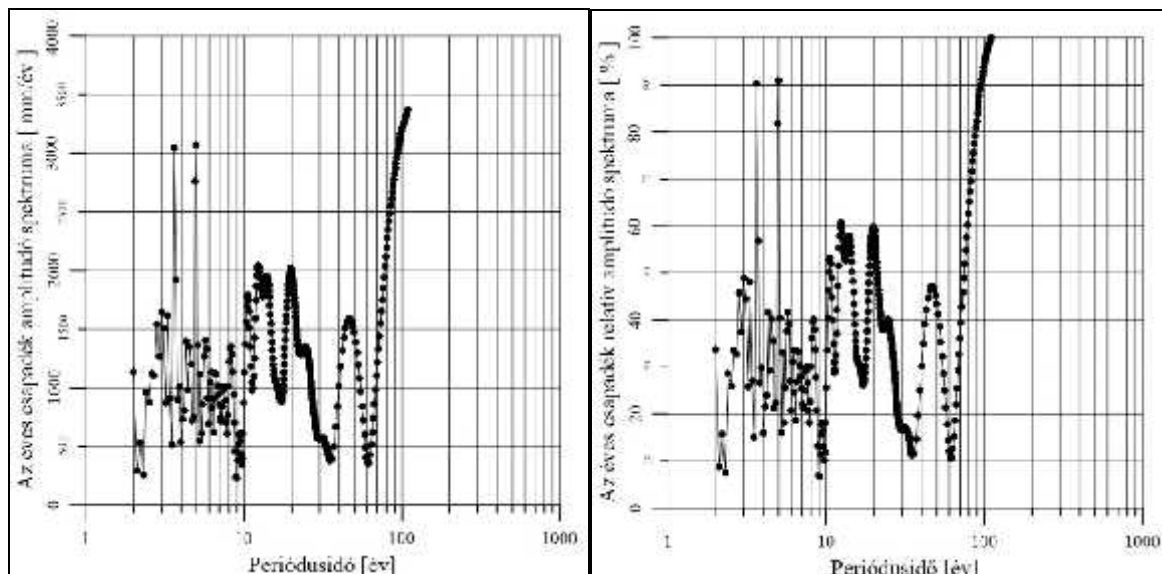
1. táblázat. Négy magyarországi nagyváros éves csapadékösszegeiben talált ciklusok

Table 1. Cycles found in the annual precipitation dataset of four Hungarian cities

Budapest		Debrecen		Pécs		Szombathely	
T [év]	$\frac{A(T)_{lok}}{A(T)_{abs}}_{max}$ [%]	T [év]	$\frac{A(T)_{lok}}{A(T)_{abs}}_{max}$ [%]	T [év]	$\frac{A(T)_{lok}}{A(T)_{abs}}_{max}$ [%]	T [év]	$\frac{A(T)_{lok}}{A(T)_{abs}}_{max}$ [%]
2,8	45,65	3,1	41,11	2,9	88,95	2,8	50,20
3	48,83	3,4	56,89	3,2	61,44	3	44,10
3,3	47,93	3,6	100,00	3,6	95,02	3,5	71,06
3,6	90,15	4,3	71,45	3,9	64,36	3,9	54,00
3,9	29,79	4,6	28,36	4,1	82,77	4,2	55,97
4,3	41,42	5	77,45	4,5	100,00	4,5	21,06
4,5	40,03	5,6	55,18	5	99,50	5	52,84
5	90,88	6,1	61,87	5,6	55,28	5,5	30,80
5,3	32,98	6,5	49,59	6,1	66,19	6,3	47,78
5,7	41,75	7	30,45	6,7	32,68	6,8	32,11
6,2	33,63	7,7	24,24	7,6	60,27	7,8	40,63
6,6	33,23	10,4	26,52	9,9	67,53	8,5	51,41
7,5	30,02	13,5	69,34	12	54,49	9,5	47,53
8,3	40,12	21,8	43,45	14,3	65,71	10,4	49,95
10,6	53,15	31,6	77,77	18,1	43,87	11,8	80,05
12,4	60,56	51	27,46	31,6	73,43	13,3	61,30
14	57,74			51	55,10	15,6	72,15
19,8	59,76					26,7	100,00
24,4	40,03					36	80,94
31,3	17,05					59	65,26
47	47,17						

Budapesten 21 ciklust sikerült kimutatnunk (1. ábra). Ezek nagy része fő ciklus (15 db) és 6 mellékciklus. A legdominánsabban az 5 éves ciklus mutatkozik, majdnem 100 % relatív amplitúdó spektrummal ($A(T)_{max}$), azt követi a 3,6 éves, mint a második legdominánsabb. Több ábrán látható, hogy a 110 éves adatsor hossza sem elegendő az összes ciklus felkutatásához. A függvény értékeinek az x tengely nagyobb periódusidejeinél tapasztalható emelkedésből a 110

évesnél hosszabb ciklus is észrevehető, nagy mértékű amplitúdóval, azonban az értékek nem érnek el egy lokális maximumot, így ezen ciklus periódusideje nem meghatározható a rendelkezésre álló regisztrációs időszak adataiból. A kapott eredményeket két ábrán mutatjuk be, az egyikben a kapott amplitúdó értékek, míg a mellette lévő az általunk bevezetett relatív amplitúdó értékek szerint ábrázolva. A ciklusok sorrendbe állítását a relatív értékek alapján tesszük meg.

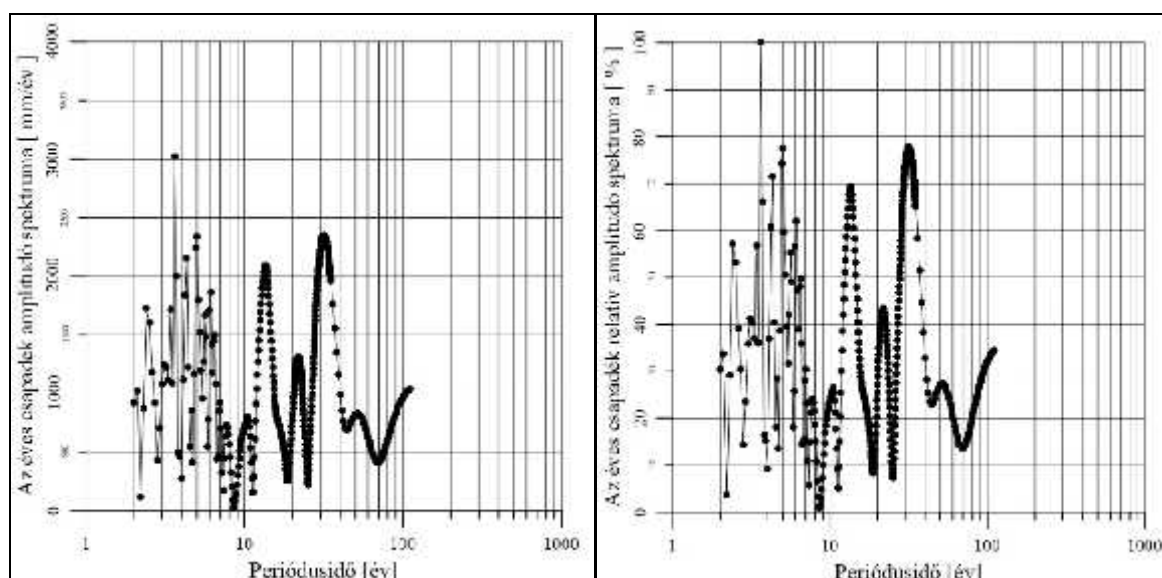


1. ábra. Amplitúdó és relatív amplitúdó spektrum Budapest 1901 és 2010 között

Figure. 1. Amplitude and relative amplitude in Budapest between 1901 and 2010

Debrecenben 16 ciklust találtunk (2. ábra), melyből 18 volt f ciklus, 8 mellékciklus. Itt a 3,6 éves ciklus mutatkozott a legdominánsabbnak, 100% relatív amp-

litúdó értékkel, a többi ciklus 27 – 77 % közötti érték-tartományba esett.

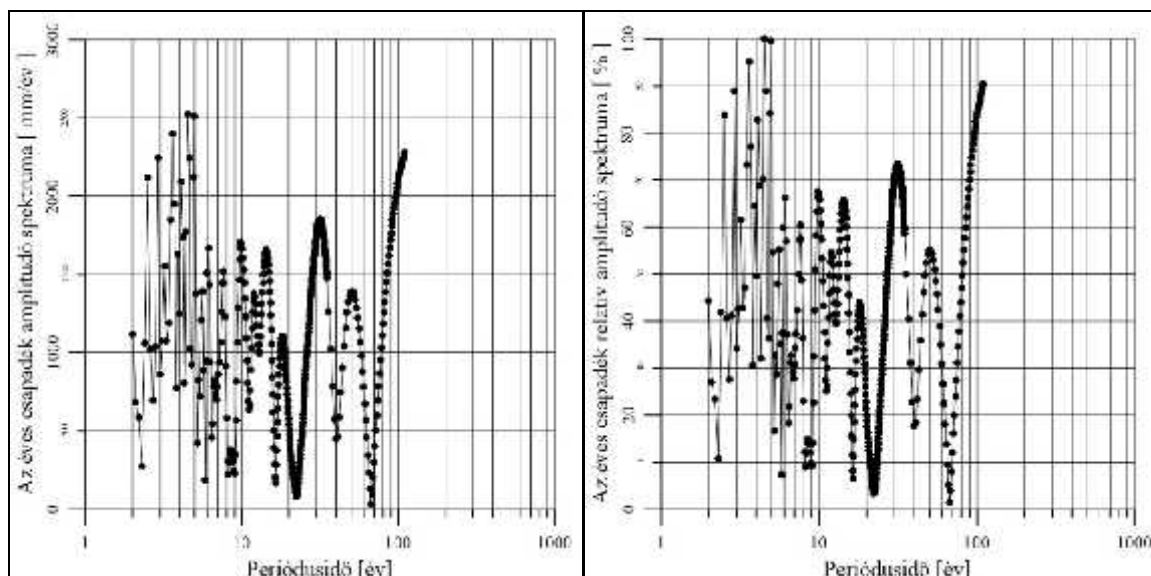


2. ábra. Amplitúdó és relatív amplitúdó spektrum Debrecenben 1901 és 2010 között

Figure 2. Amplitude and relative amplitude in Debrecen between 1901 and 2010

Pécsett 17 ciklus látható (3. ábra), egy kivételével mindegyik f ciklusként kezelhet. Ez azzal magyarázható, hogy Pécsen a csapadék időbeli alakulása sokkal kevesebb számú domináns ciklussal leírható, mint más mérőállomások közelében. Itt a 4,5 éves

ciklus mutatkozott a legdominánsabbnak, amit az 5 éves követett szinte azonos relatív amplitúdó értékkel, míg a harmadik a 3,6 éves volt, több mint 90 %-os relatív amplitúdóval.

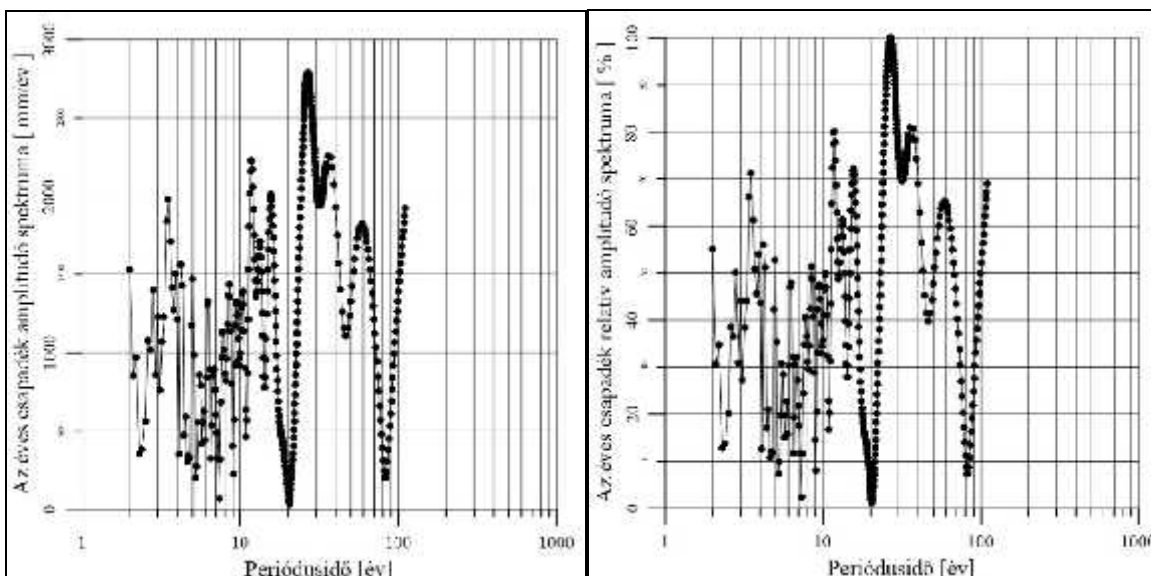


3. ábra. Amplitúdó és relatív amplitúdó spektrum Pécsen 1901 és 2010 között

Figure 3. Amplitude and relative amplitude in Pécs between 1901 and 2010

Szombathelyen 20 ciklus került meghatározásra (4. ábra). Többségüket nem lehet összehasonlítani a többi városban kimutatott ciklusokkal, mivel a település különleges földrajzi elhelyezkedése miatt (az Alpok közelsége) az ország legcsapadékosabb vidékének számít, a csapadék id beliségében a ciklikusság nem annyira meghatározó, mint a többi esetben. Szombathelyen a legdominánsabban a 26,7 éves ciklus jelent-

kezett. Az 1. táblázatban látható, hogy a nagyobb relatív amplitúdó spektrummal rendelkező ciklusok a 10 és 60 év közötti periódusid tartományból kerültek ki. Ez azt jelenti, hogy a hosszabb ciklusok nagyobb részben jellemzik a csapadék alakulását, a kis periódusid vel rendelkező ciklusok szinte alig jelentkeznek, dominánsan nem mutathatók ki.



4. ábra. Amplitúdó és relatív amplitúdó spektrum Szombathelyen 1901 és 2010 között

Figure 4. Amplitude and relative amplitude in Szombathely between 1901 and 2010

A külön-külön történ elemzés után az adatokat mind a négy város esetében együtt vizsgálva, 7 olyan ciklust is találtunk, amely minden adatsorban megtalálható. Ezen ciklusok a következők, az átlagos relatív amplitúdó értékük sorrendjében:

5 éves $AY(T)_{\max} = 80,17 \%$

3,5 – 3,6 éves	$AY(T)_{\max} = 71,25 \%$
11,8 – 13,5 éves	$AY(T)_{\max} = 66,11 \%$
2,8 – 3,1 éves	$AY(T)_{\max} = 57,27 \%$
6,1 – 6,3 éves	$AY(T)_{\max} = 52,36 \%$
4,5 – 4,6 éves	$AY(T)_{\max} = 47,36 \%$
7,5 – 7,8 éves	$AY(T)_{\max} = 38,79 \%$

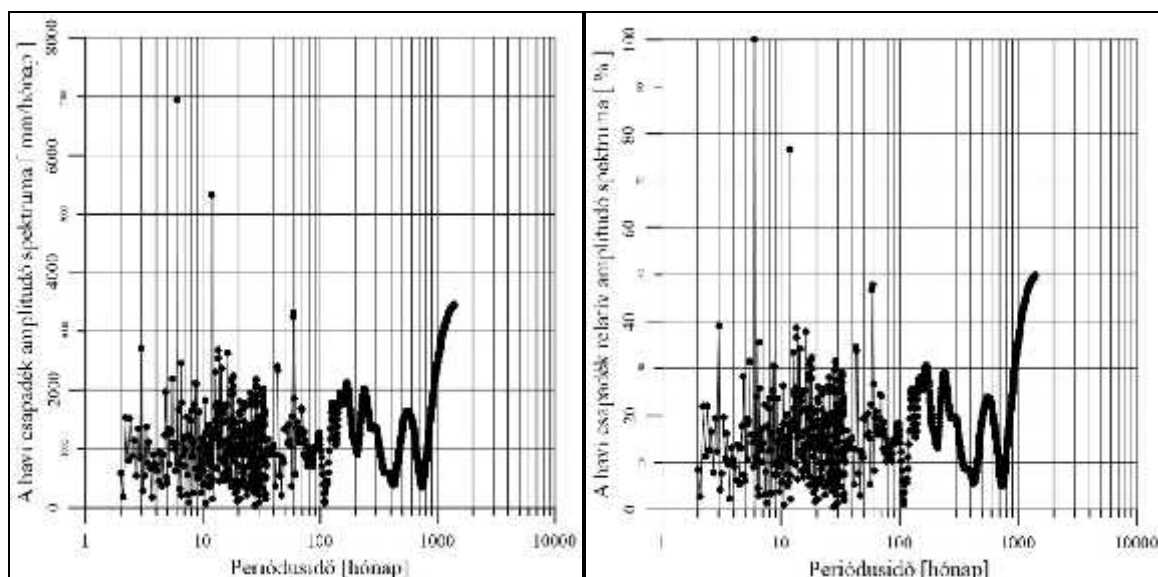
A városok földrajzi elhelyezkedése jól jellemzi az egész Kárpát-medencét, mivel négy különböző, egymástól távol lévő állomásról sikerült adatokat gyűjtenünk, így ezt a 7 ciklust tekinthetjük Közép-európai, vagy országos ciklusoknak is.

Havi csapadékösszegek

A regisztrációs időszak 1901. január és 2010. december közötti időszak, a regisztrációs időszak hossza $T_{\text{reg}}=1320$ hónap, a mintavételi köz 1 hónap volt, így

1320 mintát vizsgáltunk minden egyes városból. A Nyquist frekvencia ebben az esetben 2 hónap.

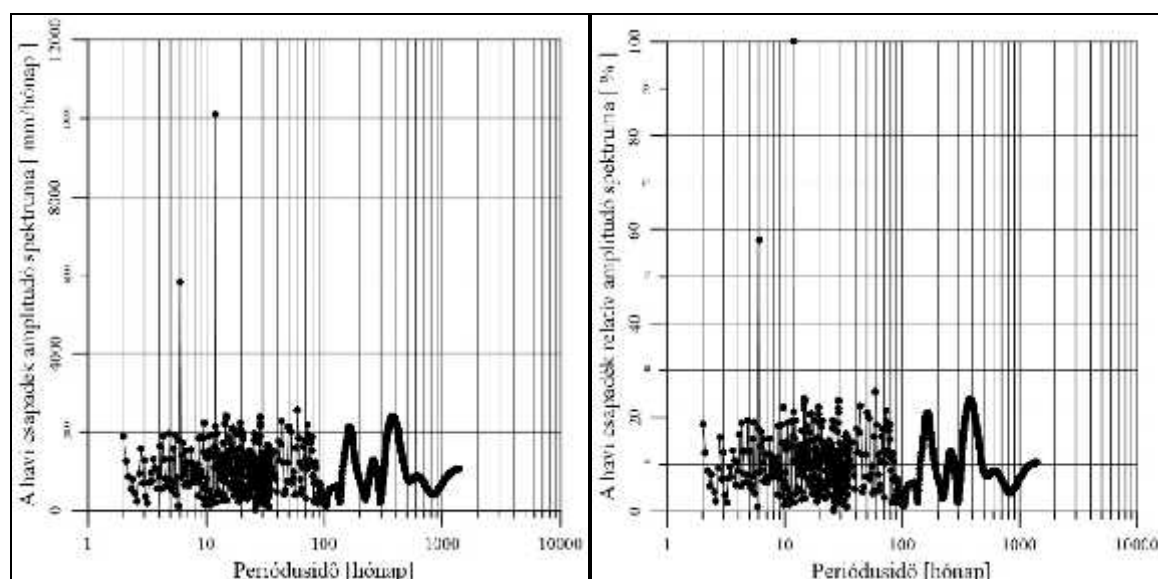
Budapesten 71 ciklust találtunk (5. ábra). Mint később látni lehet, az egyetlen hely, ahol a féléves ciklus dominánsabban jelenik meg az egy évesnél, az, ahol a relatív amplitúdó értéke mindössze 76.63 % volt csupán. Ezek mellett csak egy fél ciklus került még azonosításra, a többi mind mellékciklusként jelentkezett. Ezek közül dominánsnak tekinthető a 3, 13,7 és a 16,2 hónap hosszúságú ciklusok.



5. ábra. Amplitúdó és relatív amplitúdó spektrum Budapesten 1901 január és 2010 december között
Figure 5. Amplitude and relative amplitude in Budapest between January 1901 and December 2010

Debrecenben 43 ciklus került kimutatásra (6. ábra). Ennél az állomásnál már az éves ciklus volt a legdominánsabb, 100 %-os relatív amplitúdóval, a második 57,64 %-al a féléves ciklus volt. A többi, mind a mellékciklus tartományba esett, azok közül is

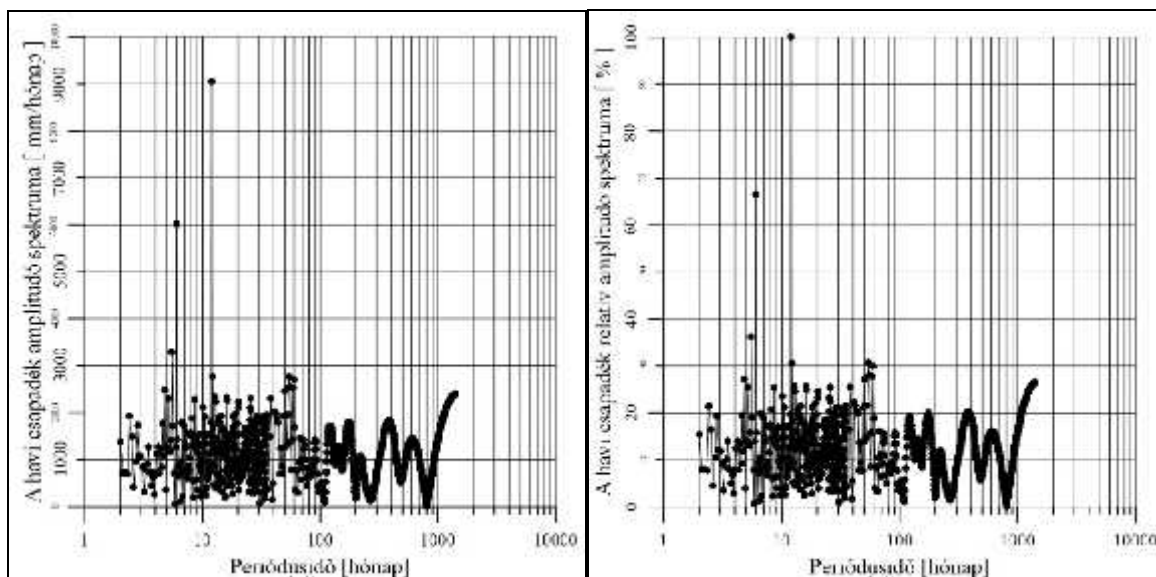
az 59, 4,7 és a 378 hónaposak szerepeltek nagyobb értékkel. A ciklusok nagy része a 20 % relatív amplitúdó érték alatt szerepelt, de ennek ellenére a csapadék idősíkjában figyelembe kell venni őket.



6. ábra. Amplitúdó és relatív amplitúdó spektrum Debrecenben 1901 január és 2010 december között
Figure 6. Amplitude and relative amplitude in Debrecen between January 1901 and December 2010

Pécs városára 65 ciklust számoltunk ki (7. ábra). Az éves ciklus egyértelmű dominanciája mellett a féléves a debreceninél kicsit nagyobb, 66,53 %-al jelent meg. A többi ciklus mind a mellékciklus tarto-

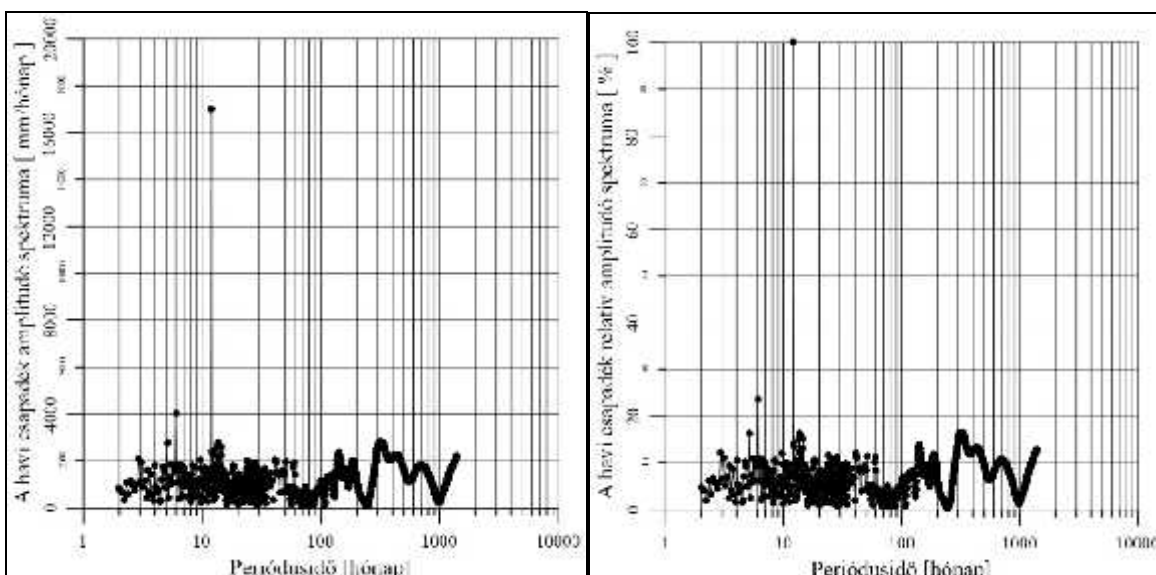
mányba esett, 14 – 50 % közötti relatív amplitúdó értékkel. A dominánsabb mellékciklusok az 5,5; 54; 12,2 és a 60 hónap hosszúságúak.



7. ábra. Amplitúdó és relatív amplitúdó spektrum Pécsen 1901 január és 2010 december között
Figure 7. Amplitude and relative amplitude in Pécs between January 1901 and December 2010.

Szombathelyen mindössze 19 ciklus került kimutásra (8. ábra). Az éves ciklus 100 %-os relatív amplitúdója mellett a féléves csak 23,71 %-al jelentkezett, így már az is mellékciklusnak számít. Ennél a város-

nál a 6 hónapos ciklikusság az id sorban már közel sem annyira domináns, mint a többi város esetében, a többi mellékciklus mind 20 %-nál kisebb értékkel adódott.



8. ábra. Amplitúdó és relatív amplitúdó spektrum Szombathelyen 1901. január és 2010. december között.
Figure 8. Amplitude and relative amplitude in Szombathely between January 1901 and December 2010.

Mint az az ábrákból is látszik – f leg az utolsó Szombathelyi esetben – egy-két nagyobb, dominánsabb ciklus volt kimutatható az id sorokból, minden városnál a helyi sajátosságok megjelenésével. Szombathelyen az Alpok közelsége miatti más klimatikus viszonyok miatt szinte teljesen eltér eredmény jött ki,

mint a többi városnál. A ciklikusság itt közel sem annyira domináns, mint a többi állomás esetében.

Az eredmények együttes vizsgálata után 13 ciklust találtunk meg mind a négy város id sor adataiban.

Ezek a következők, az átlagos relatív amplitúdó érték szerinti sorrendben:

1 éves	$AY(T)_{\max} = 94,16 \%$
0,5 éves	$AY(T)_{\max} = 61,97 \%$
4,92 – 5,00 éves	$AY(T)_{\max} = 28,61 \%$
1,13 – 1,15 éves	$AY(T)_{\max} = 23,14 \%$
1,2 – 1,21 éves	$AY(T)_{\max} = 23,08 \%$
3,42 – 3,67 éves	$AY(T)_{\max} = 22,83 \%$
0,4 – 0,43 éves	$AY(T)_{\max} = 22,76 \%$
2,36 – 2,39 éves	$AY(T)_{\max} = 21,85 \%$
4,17 – 4,5 éves	$AY(T)_{\max} = 20,88 \%$
11,75 – 13,67 éve	$AY(T)_{\max} = 19,34 \%$
2,8 – 3,17 éves	$AY(T)_{\max} = 17,35 \%$
6,08 – 6,25 éves	$AY(T)_{\max} = 15,21 \%$
7,58 – 7,67 éves	$AY(T)_{\max} = 10,56 \%$

Az eredményekből látható, hogy az éves ciklus egyértelműen a csapadék időbeli alakulásában a legdominánsabb, míg a féléves második helyen szerepel a többi eredményhez képest magas relatív amplitúdó értékkel. Az éves adatok vizsgálata alapján az 5 éves ciklus volt az időjárás alakulását leginkább meghatározó, itt harmadik helyen szerepel, amiket egy év körüli periódus idővel rendelkező ciklusok követnek közel azonos, 20 % körüli értékkel. A legnagyobb periódus idővel rendelkező országos ciklus a 12 év körüli, mivel a nagyobb periódus időben már akkora különbségeket tapasztaltunk az állomások eredményei között, ami alapján azokat azonosnak már nem lehetett tekinteni.

Az eredményeket összevetve korábbi vizsgálatokkal azt tapasztaltuk, hogy ezen ciklusok nagy részét korábbiakban is megtalálták regionális vizsgálatokkor. A nagyobb periódus idővel rendelkező ciklusok közül az 5; 3,6; 6,4-6,5; 7,4 és a 14,3 éves ciklusokat szintén kimutatták, amikor a Bükk-Mátra területére végeztek el hasonló számításokat (Kovács F. és Turai, 2014a). Ezek alapján elmondható, hogy ezen ciklusok valóban reprezentálják az ország csapadékviszonyait.

Havi csapadékösszegeket vizsgáltunk egy korábbi, Nyírség területére elvégzett kutatásban. Az ott elvégzett számításokhoz két Kelet-Magyarországi kisváros 52 éves havi adatsorát használtuk, amikben a 1; 0,5; 0,4-0,43; 1,13-1,15; 2,38 éves ciklusok szintén szerepeltek (Ilyés et al., 2015).

Napi csapadékösszegek

A hosszú távú változások vizsgálatához a napi csapadékösszegeket használtuk, arra a két kérdésre keresve a választ, hogy az évek folyamán hogyan változott az éves ciklus hossza, illetve a regisztrátumokból kimutatható legnagyobb periódus idővel rendelkező ciklus hogyan változott.

Amennyiben a Föld globális hidrológiai ciklusában tapasztalható változás, az mindenképp hatással van a csapadék időbeli alakulására. A közelmúltban számos cikk bemutatta, hogy a hidrológiai ciklus gyorsul, illetve rövidül, a bolygó éghajlata változékonyabb lesz, és a csapadék éven belüli megoszlása több helyen

változik (Stocker et al., 2013; Bates et al., 2008), amely például jelentősen növelheti az árvízi kockázatokat.

A 110 év (40177 nap) hosszúságú adatsort 4 egyenlő hosszúságú időszakra osztva vizsgáltuk, amik a következők:

1. 1901. január 1. – 1928. július 2.
2. 1928. július 2. – 1956. január 1.
3. 1956. január 1. – 1983. július 2.
4. 1983. július 2. – 2010. december 31.

Mind a négy regisztrációs időszak egyenként 10045 mintát tartalmaz, a mintavételi köz 1 nap, a Nyquist frekvencia ekkor 2 nap.

Debrecenben az éves ciklus alakulásában minimális változást tapasztaltunk, az első és utolsó időszakban azonos hosszúságú, (366,6 nap) míg az évszázad közepén kis mértékben rövidebb volt (364,4 nap). Az amplitúdó érték is minimális változást mutat, 12 %-al növekszik.

Budapest esetében kismértékű növekedés tapasztalható, 366,5 napról 366,9 napra, de a második időszakban azonos hosszúságú, (366,6 nap) míg az évszázad közepén kis mértékben rövidebb volt (364,4 nap). Az amplitúdó érték is minimális változást mutat, 12 %-al növekszik.

Pécsen a harmadik időszakban azonos hosszúságú, (366,6 nap) míg az évszázad közepén kis mértékben rövidebb volt (364,4 nap). Az amplitúdó érték is minimális változást mutat, 12 %-al növekszik.

Szombathelyen hasonló eredményt hozott a számítás, a leghosszabb éves ciklus az utolsó időszakban található (365,9 nap), míg a másodikban a legrövidebb (364,4 nap). Ennél az állomásnál az amplitúdóban csökkenés mutatkozik.

Az eredmények azt mutatják, hogy az éves ciklus változásában monotonitás egyáltalán nem mutatható ki, mind a periódusidő, mind az amplitúdó esetén. Több esetben enyhe növekedés volt az amplitúdóban, kivéve Szombathely városát, ahol csökkenést mutatunk ki. Összességében kijelenthetjük, hogy az éves ciklus nem mutat változást a vizsgált 110 év alatt, mindvégig egy hibahatáron belülnek tekinthető kis intervallumban mozgott a 365-366 napos periódusidő közelében.

Az idősorokban fellelhető leghosszabb periódusidővel rendelkező ciklus elemzése más eredményt mutatott. Debrecenben a leghosszabb ciklus 5576 napról 4386 napra csökken, a második időszakban a leghosszabb a ciklus, ott 5930 napos. Az amplitúdóban is hasonló változást tapasztaltunk, az első és második időszak között megduplázódik, de utána lecsökken a legkisebb értékére, 306,4225 mm/365 napra. Budapest esetében közel felére csökkent ez a ciklus, a leghosszabb a harmadik időszakban volt. Pécsen a debrecenihez hasonló eredmény mutatkozott a periódusidővel rendelkező ciklusok elemzése során.

dus id tekintetében, de az amplitúdó itt megnövekedett 356,408 mm/365 napról 470,0534 mm/365 napra. Szombathely állomáson szintén fele-

z és vehet észre a periódusid tekintetében, az amplitúdó 1208,7170 mm/365 napról 378,6933 mm/365 napra csökkent.

2. Táblázat. A leghosszabb periódusid vel rendelkező ciklus változása

Table 2. The changes of period of time in the cycle with the longest period of time.

Id szak	Leghosszabb ciklus [nap]			
	Budapest	Debrecen	Pécs	Szombathely
1901. január 1. – 1956. január 1.	7998	5753	5157,5	3724
1956. január 1. – 2010. december 31.	6424	4654,5	3605	2789,5
<i>Periódusid változás [nap]</i>	-1574	-1098,5	-1552,5	-934,5

3. Táblázat. A leghosszabb periódusid vel rendelkező ciklus amplitúdó változása

Table 3. The changes of relative amplitude spectrum in the cycle with the longest period of time

Id szak	Leghosszabb ciklus [mm/365 nap]			
	Budapest	Debrecen	Pécs	Szombathely
1901. január 1. – 1956. január 1.	1139,7566	795,8804	739,9553	724,1627
1956. január 1. – 2010. december 31.	581,1618	637,4869	597,1862	532,4286
<i>Amplitúdó spektrum változás</i>	-49,01 %	-19,9 %	-19,29 %	-26,48 %

Mint az a 2. és 3. táblázatból látható, ha mindössze két részre osztjuk az id sort, sokkal tisztább eredményt kapunk. Mind a négy város esetében csökkenés mutatható ki a periódusid tekintetében, 20-25 %-os csökkenés számítható, míg Budapest városában közel megfelel a ciklus amplitúdója.

Az eredmények alapján látható, hogy a leghosszabb periódusid vel rendelkező ciklus változik. Minden esetben rövidül, vagy egyre rövidebb ciklus mutatható ki, amplitúdó csökkenés mellett. Ennek magyarázata az id járás változékonyságában keresendő, a nagy periódusidejű ciklusok egyre kevésbé határozzák meg az id járás alakulását, ez látható az amplitúdó változásból. A periódusid csökkenése azt mutatja, hogy a hosszú periódusok valóban rövidülnek, s ennek következtében a változatosság növekszik.

ÖSSZEFOGLALÁS

Közelmúltbeli kutatások kimutatták, hogy a meteorológiai extrémítások száma megnövekedett. Az elrejelzések alapján a hidrológiai körfolyamatban változás tapasztalható és várható a jövőben is, továbbá a területi és idbeli csapadékeloszlásban is átalakulás várható (Szöllősi-Nagy, 2015). Ebben a kutatásban diszkrét Fourier-transzformáción alapuló spektrális elemzést használva a Kárpát-medencére jellemző hidrometeorológiai adatsorok periodikus komponenseit kerestük.

A számítások alapján 13 országos, vagy Közép-európai ciklust sikerült kimutatni a 110 éves hosszúságú adatsorból, és nagyszámú más lokális ciklust azonosítottuk. A legdominánsabban az 5 éves ciklus jelent

meg minden város esetében, míg a leghosszabb periódusidejű a 11-13 év körüli ciklus. Utóbbi ciklust érdemes párhuzamba hozni a napfolttevékenység 11-12 év körüli többnyire periodikus alakulásával (Hathaway, 2015). Kínában statisztikai - korrelációs vizsgálatokkal találtak összefüggést a helyi éves csapadékösszegek és a napfolttevékenység között, 0,6 és 0,89 közötti korrelációs együttható értékek mellett, így feltételezhető, hogy ennek a ciklusnak magyarázata lehet Magyarország esetében is a napfolttevékenység hatása (Zhao et al., 2004). A napi csapadékösszegek vizsgálata alapján elmondható, hogy a csapadék idbeliségében található éves ciklus nem változik lényegesen, tulajdonképpen állandó, mivel ezt a ciklust csillagászati okok alakítják, a Föld forgása és helyzete a fő mozgatója. Azonban a leghosszabb periódusid vel rendelkező ciklus egyértelműen rövidült a vizsgált 110 év alatt. Ez az eredmény azt mutatja, hogy az id járás alakulásában a hosszú idejű periodicitás szerepe fokozatosan csökken a század vége felé haladva, a felkutatott ciklusok kevésbé dominánsak a század végén, mint a 20. század elején, a hosszú ciklusok periódusideje határozott csökkenést mutat.

A további kutatásoknak a célja, hogy a kimutatott ciklikusságot, illetve a dominánsabb egy évesnél nagyobb periódusidejű ciklusokat milyen meteorológiai folyamatokkal lehet magyarázni, illetve a kimutatott amplitúdók, periódusidk és a kiszámított fázisszögek segítségével elrejelzés is elvégezhető a területre (Kovács F. és Turai, 2014b).

IRODALOM

- Bates, B., Kundzewicz, W. Z., Wu, S., Paulutikof, J. (2008): *Climate Change and Water, IPCC Technical Paper VI*, Intergovernmental Panel on Climate Change
- Candy, V. J. (1985): *Signal Processing, The Model-based Approach*, McGraw-Hill Book Company
- H. Hathaway, D. (2015): The Solar Cycle, *Living Reviews in Solar Physics*, 12
- Ilyés Cs., Turai E., Sz. cs P. (2015): A Nyírség csapadék id sorainak statisztikus és ciklikus jellemzőinek változása, In: Dr. Bodzás, S. (szerk.): *M szaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2015 Konferencia el adásai Debrecen 2015* pp. 392-397.
- Kovács, F., Turai, E. (2014a): A Mátra-Bükkalja csapadék jellemzői ciklikus változása, prognózis módszer megalkotása, *Hidrológiai Közlöny*, 94. évf., 2014, 1. sz. pp. 35-45
- Kovács, F., Turai, E. (2014b): Cyclic Variation in the Precipitation conditions of the Mátra-Bükkalja Region and the Development of a Prognosis Method, *ARPJ Journal of Science and Technology*, vol. 4. No.8. August 2014. pp. 526-540.
- Kovács J., Kiszely-Peres B., Szalai J., Kovácsné Székely I. (2010): Periodicity in Shallow Groundwater Level Fluctuation Time Series on the Trans-Tisza Region, Hungary. *Acta geographica ac geologica et meteorologica Debrecina* vol. 4-5, pp. 65-70. Debrecen, 2010
- Meskó A. (1984): *Digital Filtering Applications in Geophysical Exploration for Oil*, Akadémia Kiadó, Budapest
- Mosteller F., Tukey, J. W. (1977): *Data Analysis and Regression*, Addison Wesley Publishing Company
- Nason, G. P. and von Sachs, R. (1999): Wavelets in time-series analysis, *Philosophical Transactions of the Royal Society A-mathematical Physical and Engineering Sciences*, vol. 357, pp.:2511-2526, England
- Országos Meteorológiai Szolgálat Online Adatbázis (2015): http://met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok/ (letöltve: 2015. június 1.)
- Panzer, F. P. (1965): *Modulation, Noise and Spectral Analysis – Applied to Information Transmission*. McGraw-Hill Book Company
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M. M. B., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M. (2013): *Climate Change 2013, The Physical Science Basis*, Chapter 12: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility, Cambridge University Press
- Szegediné Darabos E., Miklós R., Tóth M., Lénárt L. (2015): A 2014/2015-ös év fontosabb kutatási irányai és eredményei a Bükkben, *Karsztfejl és XX*. pp. 29-47, Szombathely
- Szöllősi-Nagy A. (2015): Water governance in the OSCE area – increasing security and stability through co-operation, *OSCE 23rd OSCE Economic and Environmental Forum*, First Preparatory Meeting, 26-27 January 2015.
- Sz. cs P. (2012): Hidrogeológia a Kárpát-medencében – hogyan tovább?, *Magyar Tudomány*, 2012. 5, HU ISSN 0025 0325, pp. 554-565.
- Sz. cs P., Kompár L., Palcsu L., Deák J. (2015): Estimation of the Groundwater Replenishment Change at a Hungarian Recharge Area, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, November 2015 vol. 10., pp. 227-236.
- Zhao, J, Han, Y-B, Li, Z-A (2004): The Effect of Solar Activity on the Annual Precipitation in the Beijing Area, *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics*, vol. 4, 2004, No. 2. pp. 189-197.

SZERZ K ADATAI

ILYÉS CSABA: az Eötvös Lóránd Tudományegyetemen szerzett meteorológiai szakirányon földtudományi kutató alapidipломát 2011-ben, majd a Miskolci Egyetem Bányamérnöki Karán. Ezt követően az egyetem (az 1990-es évektől Miskolci Egyetem) Geofizikai Tanszékén dolgozik gyakornoki, tanársegédi, adjunktusi, 1998-tól pedig egyetemi docensi beosztásokban. 1984-ben egyetemi doktori címet szerzett, 1994-óta a földtudomány kandidátusa, 1996-ban pedig a földtudomány területén kapott PhD fokozatot. 1993-ban kapta meg a gazdálkodási szakokleveles mérnök-közgazdász oklevelét, 2012-ben pedig a földtudomány



TURAI ENDRE: 1978-ban szerzett kiegészítő bányamérnöki oklevelet geofizikus-mérnöki szakirányon, a Nehézipari M szaki Egyetem Bányamérnöki Karán. Ezt követően az egyetem (az 1990-es évektől Miskolci Egyetem) Geofizikai Tanszékén dolgozik gyakornoki, tanársegédi, adjunktusi, 1998-tól pedig egyetemi docensi beosztásokban. 1984-ben egyetemi doktori címet szerzett, 1994-óta a földtudomány kandidátusa, 1996-ban pedig a földtudomány területén kapott PhD fokozatot. 1993-ban kapta meg a gazdálkodási szakokleveles mérnök-közgazdász oklevelét, 2012-ben pedig a földtudomány

nyok tudományágban habilitált (dr. habil). Oktatási és kutatási területe az elektromos és elektromágneses módszerek, a geofizikai adatfeldolgozás, a geofizikai kutatások gazdaságtana és a geoinformatika. Számos hazai és külföldi szakmai-tudományos testület tagja. 2012. júliusától a Miskolci Egyetem Geofizikai és Térinformatikai Intézet igazgatója, 2013. júliusától pedig a Geofizikai Intézet Tanszék vezetője.

SZ CS PÉTER: a Nehézipari M szaki Egyetem Bányamérnöki Karán szerzett kiegészítő geofizikus-mérnöki oklevelet 1988-ban. Oktatói és kutatói pályájának elején el ször a Geofizikai Tanszékén, majd az MTA Bányászati Kémiai Kutatólaboratóriumában dolgozott. 1993-ban Dr. Univ. címet, majd 1996-ban PhD doktori oklevelet szerzett. 2009-ben megszerzi az MTA doktora tudományos címet, illetve sikeresen habilitált a Miskolci Egyetemen. 1998 óta a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai – Mémőkgeológiai Tanszékén dolgozik. 2010-ben egyetemi tanári kinevezést kapott. Kétszeres Bolyai János Kutatási Ösztöndíjas, kétszeres Fulbright kutatói ösztöndíjas, egyszer pedig Széchenyi István Ösztöndíjat kapott. Publikációs tevékenységének elismeréseként háromszor adományozták részére a Szádeczky-Kardoss Elemér Díjat. Publikációinak száma mintegy 400.

Köszönt

DR. SZIGYÁRTÓ ZOLTÁN 90 ÉVES

**Gyémántdiplomás okleveles mérnök,
a Magyar Tudományos Akadémia doktora,
címzetes egyetemi tanár,
a Magyar Hidrológiai Társaság tiszteleti tagja,
és a Magyar Mérnöki Kamara örökös tagja.**



*A felvétel 2016. február 9-én
a 90. születésnapon készült*

Budapesten született, 1926. február 9-én. Édesapja erd -
mérnök volt, édesanyja a család háztartását ve-zette.

1944-ben kit n eredménnyel érettségizett, és beirat-
kozott a Magyar Királyi József Nádor M szaki és Gaz-
daságtudományi Egyetem Mérnök- és Építész-mérnök
Karára. Mérnöki diplomáját 1950 szeptem-berében sze-
rezte meg. 1949 decemberét l 1952 szeptemberéig a
Budapesti M szaki Egyetem I. sz. Víz-építési Tanszékén
demonstrátor, majd tanársegéd. Ezt követ en Németh
Endre professzor irányításával az MTA aspiránsa, itteni
kutatásait Statisztikus törvényszer ségek a csapadék évi
járásában cím kandidátusi értekezésében foglalta össze,
és 1957-ben védte meg. 1982-ben a Vízhozam hullám-
képek számítása valószínűségelméleti alapon cím dok-
tori értekezésével elnyerte a m szaki tudományok dokto-
ra címet.

1955 szeptemberét l nyugdíjazásáig, 1986 májusáig
a VITUKI munkatársa. Különböz beosztásokban dolgo-
zott, volt a Vízrajzi osztály kutatója, a VITUKI igazgató-
jának m szaki titkára, a mez gazdasági vízgazdálkodási
osztály vezetője, tudományos tanácsadója, majd nyugdí-
jazását követ en küls szakért je.

1992-ben megalapította saját tudományos vállalkozá-
sát, majd ezt továbbfejlesztve 1998-ban a Dr. Szigyártó
Mérnöki Iroda Kft-t. Vállalkozását 2003-ig m ködtette.

1952-t l kezdve több mint 30 évig, mint meghívott
küls konzulens, rendszeresen részt vett a Budapesti
M szaki Egyetem vízmérnöki oktatásában. Hosszabb
ideig tagja volt az államvizsga bizottságoknak. 1977-ben
a BME címzetes egyetemi docense, 1987-ben pedig
címzetes egyetemi tanára lett. 1965-71 között több veze-
tés- és szervezéselméleti tanfolyamon vett részt, ezzel
kapcsolatban holland ösztöndíjat is kapott. A magyar-
szovjet m szaki tudományos együttm ködés két témájá-
nak is koordinátora volt, valamint magyarországi felel se
volt az európai szocialista országok tudományos együtt-
m ködése keretében végzett egyik projektnek, aminek
révén számos ülésen képviselte hazánkat. 1962-63-
ban az Országos Távlati Tudományos Kutatási Terv 8. sz.
Vízgazdálkodási koordináló bizottságának titkára volt.

A valószínűségelmélet és a matematikai statisztika
hidrológiai és hidraulikai alkalmazásának úttör i közé
tartozik. Az ország töltésezett folyóival kapcsolatban a
2014-ig érvényes mértékadó árvízszintek megha-
tározásánál az általa, az 1970-es években kidolgozott

matematikai-statisztikai számításokat vették alapul. Ne-
véhez f z dik a csapadék valószínűségi függvény szabá-
tos meghatározásának módja. Átvonulási elméletének
kidolgozásával nagyban leegyszer sítette a nyílt felszín ,
nem permanens vízmozgások számítását.

A mez gazdasági vízgazdálkodással kapcsolatos
munkássága nagyrészt az öntöz víz elosztó rendszerek
tervezéséhez és üzemeltetéséhez kapcsolódik. A felül l
vezérelt öntöz víz elosztó rendszerekhez megbízhatóan
m köd hidraulikus vízhozamadaló-, vízszinttartó és
túlfolyó típust fejlesztett ki. Irányította a Tisza-öki öntö-
z rendszer m szaki fejlesztésével kapcsolatos tervez
munkákat.

Szakmai pályafutásának jelentékeny részét töltötte ki
a magyar vízrajzi szolgálat egyes munkate-rületeinek
irányítása és felügyelete, és a magyar vízrajzi munka
fejlesztése. A helyszíni és kisminta vizsgálatokkal olyan
új vízhozammér m tárgy-típust fejlesztett ki, amely –
amellett, hogy lehet vé teszi a kis- és középvezetek vízho-
zamának folyamatos, megbízható mérését – árvizek
alkalmával alig duzzaszt vissza. E munkája, és az általa
készített tervek alapján az országban több mint ötven
ilyen vízhozammér m tárgy épült meg. Sok további
általános és kiviteli tervet készített, vagy ilyen tervek
kidolgozását vezet tervez ként irányította.

Szakmai munkásságát 2006-ban, 80. születésnapján
Vásárhelyi Pál díjjal ismerték el.

Önálló és társszerz kkel közreadott publikációinak
száma 205, amelyek közül 65 az MHT folyóiratában, a
Hidrológiai Közönyben jelent meg 1953-2015. között.
„A mértékadó árvízszint és a valószínűségi” cím , 2009-
ben publikált dolgozatáért 2010-ben megkapta az Ma-
gyar Hidrológiai Társaság Vitális Sándor szakirodalmi
nívódíját.

1949-ben, még egyetemi tanulmányi alatt tagja lett a
Magyar Hidrológiai Társaságnak. Széleskör szakmai
tevékenységének megfelelő en a Társaság három szakos-
tályának (a hidraulikai és m szaki hidrológiai, az árvíz-
és belvízvédelmi, valamint a mez gazdasági vízgazdál-
kodási) is aktív tagja, ill. az utóbbi szakosztálynak 10
évig elnöke is volt. Ugyancsak 10 éven át elnökként
irányította a Kitüntetések Bizottságát, valamint negyed-
századon át a Vitális Sándor szakirodalmi nívódíj-
bizottságot. 1971-t l több mint három évtizeden át volt a
Társaság elnökségének tagja. Számos társasági kitün-
te-

tést kapott, munkásságát 1995-ben az MHT a Tiszteleti tag kitüntetéssel ismerte el.

Szigyártó Zoltánnak születésnapján szeretettel gratulálunk, és jó egészséget kívánunk!

Szlávik Lajos

Dr. Szigyártó Zoltán munkássága

Szigyártó Zoltán 65 esztendővel mérnöki, tudói pályája során szerteágazó tevékenységet folytatott. Munkásságának legfontosabb területei elsősorban a matematikai statisztika módszereinek alkalmazására, a hidrológiára és hidraulikára, a vízrajzi munka fejlesztésére, az ármentesítésre, valamint a mezőgazdasági vízgazdálkodásra terjedtek ki.

A matematikai statisztika területén módszert dolgozott ki a folytonos eloszlásból származó kis elemszámú minták illeszkedés vizsgálatára. Kidolgozta a háromparaméteres gamma eloszlást, s ezen eloszlás paramétereinek a becslésére szolgáló módszert. Kidolgozta (részben Várnainé Pongrácz Mária-val közösen) a „sorozatos statisztikai hipotézisvizsgálat” módszerét, mellyel normális eloszlásból származó mintáknál, a korábbiaknál megbízhatóbban, szubjektív döntések nélkül, szignifikáns eltérésekre alapozva vizsgálható meg az, hogy az anyasokaság várható értéke és a szórása a minta idő során belül miképpen alakul.

A hidrológia területén elért eredményei közül kiemelendő a következők.

A hazai hidrológiai szakirodalomban elsőként bemutatta, hogy a hidrológiai események valószínűségét miként lehet eloszlásfüggvényekkel szabatosan meghatározni. Feltárta a Tisza nagyvízi vízjárásának sajátosságait az 1901-2014 közötti adatokra támaszkodva. A hidrológusok részére kézikönyvet készített (*Dr. Csoma Jánossal közösen*) a matematikai statisztika hidrológiai alkalmazásához szükséges ismeretek és a módszerek alkalmazási lehetőségeinek bemutatására.

A hidraulika területén elért eredményei közül a legfontosabbak a következők.

Bemutatta, hogy a hidraulika sztochasztikus módszereinek felhasználásával miként lehet a Navier-Stokes egyenletből a Saint-Venant egyenletet szabatosan levezetni. Ezzel egyúttal megnyitotta a lehetőséget annak, hogy a Chezy képlet C tényezőjét szabatosan módon, fizikai mennyiségekre lehessen visszavezetni.

A sztochasztikus folyamatokra vonatkozó ismeretekre alapozva kidolgozta „átvonulási elmélet”-et, amely nagyban leegyszerűsíti a nyíltfelszín, nem permanens vízmozgás és a lökéshullám ellapulásának számítását. Bemutatta az elmélet gyakorlati alkalmazását, s azt, hogy az elmélet segítségével a Duna Nagymaros és Dombori pusztá közötti 188 km-es szakaszára miként lehet a vízállást előre jelezni.

Rendszerezte a nyíltfelszín, permanens vízmozgás felszíngörbéinek számításánál alkalmazott alapfeltevéseket és egyszerűsítéseket, továbbá jól alkalmazható, közelítő módszert dolgozott ki a kisesés vízfolyások felszíngörbéinek számítására.

A vízrajzi munka fejlesztésének területén feltárta a turbulenciának a forgóműves sebességmérővel végzett vízhozammérésre gyakorolt hatását. Összefoglalta a nem permanens viszonyok közötti vízhozam meghatározásá-

nak elméleti alapjait, s erre alapozva kidolgozott két gyakorlati módszert az ilyen körülmények között levonuló vízhozamok meghatározására.

Elsősorban elvégzett feltáró munka eredményeire támaszkodva, helyszíni és kisminta vizsgálatokkal új vízhozammérőműtípust fejlesztett ki. Ez lehet vértesző a kis- és középvizek vízhozamának folyamatos, megbízható mérését úgy, hogy a mérőműtípus árvizek alkalmával alig duzzaszt vissza, s emellett alvízi visszahatás esetén is lehetőséget ad a vízhozam megbízható mérésére. (Később a mérőműtípusra „Szigyártó-csatorna” néven magyar szabvány is készült.)

Az ármentesítés területén elért eredményei közül kiemelendő a következők.

A mértékadó árvízszintek matematikai statisztikai megalapozása érdekében, az 1970-es évek első felében, (*Dr. Csoma Jánossal közösen*) feltárta a hazai árvédelmi töltésekkel ellátott folyók éves jégmentes nagyvizeinek az alakulására vonatkozó statisztikus törvényszerűségeket. Az illetékes hatóság erre a munkára támaszkodva határozta meg a mértékadó árvízre vonatkozó, akkori hazai előírásokat.

Meghatározta (*Bálint Gáborral, Bónik Lászlóval és dr. Szlávik Lajossal közösen*) a Tisza és mellékfolyói mentén a mértékadó árvízszintek szempontjából fontos 1%-os árvízszintek 1970-2001 között bekövetkezett változását. Kimutatta, hogy folyók számos szakaszán az évi legnagyobb, jégmentes vízállások idő sorában már nem képeznek egyöntetű mintát. Rámutatott arra, hogy ennek oka a középtér időnként bekövetkező, ugrásszerű megváltozása, s hogy a középtér körüli szórás nagysága független a középtér nagyságától. Bebizonyította, hogy ennek oka a hullámtér vízzárlóképeségének a megváltozása.

Irányelveket dolgozott ki (*dr. Rátky Istvánnal közösen*) a Tisza-völgy ármentesítésének a rekonstrukciójával (a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztésével) kapcsolatban létesülő árvízi tározók létesítményeinek és berendezéseinek a hidrológiai és hidraulikai méretezésére.

A mezőgazdasági vízgazdálkodás területén végzett sokrétű munkái közül kiemelendő, hogy a felülről vezérelt öntözési vízelosztó csatornarendszerekhez új, megbízhatóan működő hidraulikus vízhozam-adagoló, hidraulikus automata vízszinttartó- és túlfolyó típusú fejlesztett ki. Kézikönyvet írt a dombvidéki öntözési vízgazdálkodásról (*dr. Balogh Jánossal és dr. Szalai Györggyel közösen*), valamint a magyar öntözéspolitika múltjáról, jelenéről és jövőjéről (*Végváriné dr. Bede Ildikóval közösen*).

Szigyártó Zoltán 90. születésnapja alkalmából kutatási eredményeiből az Országos Vízügyi Főigazgatóság tanulmánykötetet jelentetett meg „65 év a hazai vizek szolgálatában” címmel, amely egy kötetbe összegyűjtve a szerző 28 tanulmányát tette hozzáférhetővé a hazai vízes szakemberek számára.

Szlávik Lajos

Életutak

Portré beszélgetés Dr. Ijjas Istvánnal, a Budapesti M szaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék professzor emeritusával

A 2015 novemberében felvett beszélgetés rövidített, szerkesztett változata. Beszélget társ Fejér László, a Hidrológiai Közlöny rovatvezet je



– *Hogyan és mikor kezdte foglalkozni a mérnöki feladatok számítógépes megoldásával?*

Úgy kerültem a tanszékre, hogy tanárom, Bozóky Karcsi „bácsi” kihirdette, nyári munkát lehet vállalni, és az kutatási témájába lehet bekapcsolódni. A munka keretében azt vizsgáltuk, milyen összefüggés van a területen lefolyó víz mennyisége és a terület ben ttsége között. A számításokat még amolyan kurbli számológéppel végeztük. Egy vagy két évig csináltam ilyet Karcsi bácsinak. is tudta, én is tudtam, hogy egy-egy regressziós tényez kiszámítása 5-6 óra hossz-szat tartott.

Amikor elvégeztem az egyetemet, éppen akkor hirdettek meg egy számítógépes tanfolyamot. A tanszéken még nem nagyon érezték, hogy mi is ez, én pedig azt gondoltam, hogy hátha ez a gép segít, megszabadulok ett l a fárasztó kurblizés, számolás munkától. Az els programomat - amit a tanfolyamon készítettem - még filmre lyukasztottuk. Akkoriban egyébként egy URAL-2-es számítógépen dolgoztunk, ami a Közgazdaságtudományi Egyetemen egy tornaterem nagyságú helyiségben volt elhelyezve.

Az Épít mérnöki Kar a számítástechnika oktatását már korán, az 1961/62-es tanévben bevezette tantervébe, a földmér mérnöki szakon. A 60-as évek közepét l aztán minden épít mérnök hallgató számára kötelező vált a programozás elsajátítása. Én is megtanultam programozni, el ször gépi kódban, aztán különböző programnyelveken, és a számítástechnika oktatásában is aktívan vettem részt. Akkoriban számítástechnikai iskolák alakultak ki Kozák Miklós professzor és Bozóky tanár úr körül, majd kés bb körüllöttem is. Kozák Miklós munkájának nemzetközi viszonylatban is komoly eredménye volt a „Szabad-felszín nempermanens vízmozgások számítása digitális számítógépek felhasználásával” c. könyv (1977), amelynek a szerző jóvoltából lektora lehettem. Ekkor tanultam meg igazán a felszíni vizek hidraulikáját. Ez a könyv minden elmélethez, illetve algoritmushoz számítógépi programot is tartalmazott. A feladatom az volt, hogy ellen rizzem az algoritmusokat, és azt, hogy valóban jól dolgoznak-e az egyes algoritmus elemeket megoldó program-részek, az úgynevezett „szubrutinok”. Így az elméletet is jól meg kellett tanulnom, és a számítástechnikai gyakorlatot is el kellett sajátítanom. A könyv másik lektora Starosolszky Ödön volt, aki a hidraulika tudományos oldaláról ellen rizte a könyvben leírtakat.

– *Említette, hogy annak idején, a Közgazdaságtudományi Egyetemen volt az a nagy berendezés, amin Te is dolgoztál. A M egyetemen mikor jelent meg az els számítógép?*

Az els magyarországi számítógépek egyike a M egyetemen készült, azt hiszem, még az 50-es évek végén, de az els gép, amit az épít mérnöki karon használni lehetett, az az ODRA 1204-es volt, amit emlékeim szerint az 1970-es évek elején helyeztek üzembe. Néhány évvel ezel tt részt vettem a kari számítástechnikai oktatás történetének a feltárásában, s akkor az ezekre vonatkozó adatokat összegy jtöttük.

Miután nagyon korán elkezdtem foglalkozni a számítástechnikával, ezért hamarosan a tanszéken, majd az épít mérnöki karon is különböző számítástechnikával kapcsolatos koordinátori feladatokat láttam el. Így nekem is szerepem volt abban, miként fejlődik a karon a számítástechnikai oktatás. Sok tanszéken foglalkoztak olyan feladatokkal, amelyeknek a megoldásában nagy szerepe volt a számítástechnikának, és ennek alapján a fejlesztésekhez viszonylag sok küls forrást lehetett szerezni.

– *A fejlesztések átgondolásához, a külföldi trendek megismeréséhez volt-e tanulmányúti lehet séged, vagy csak a szakirodalomból lehetett tájékozódni?*

Akkoriban az ENSZ támogatásával többféle számítástechnikai fejlesztési projekt folyt Magyarországon. Az egyik ilyen projektnek, amely a számítógéppel segített tervezés a vízépítésben és a vízgazdálkodásban témában zajlott – én voltam a koordinátora. A projekt támogatásával sok fiatal szakember utazhatott külföldre, persze nem a mai mértékben, s magam is kaptam lehet séget külföldi tanulmányutakra. Kétszer jártam az Egyesült Államokban, és többször a nyugat-európai országokban. A programfejlesztési munkáink keretében megfordultam sok más országban is. Többek között Bulgáriában, Kuvaitban, Egyiptomban, Brazíliában, Jugoszláviában és Kínában alkalmazták a számítógépes tervezéshez készített programjainkat. Az USA-ban árulták a Balogh János által a mikroöntözésről szóló, angol nyelven írt könyvet. A könyvben ismertetett módszerek gyakorlati alkalmazásához a könyv melléklete tartalmazta az általam készített programokat. Ennek következtében a könyv szépen fogyott is arrafelé. Életem egyik legszebb része volt, amikor azzal foglalkoztam, hogy a tervez i munkát miként lehet számítógépes programok írásával

segíteni, hogyan lehet a tervezési munka egyes részeit automatizálni.

Az egyik első, igazán eredményes számítógépes programsorozat az volt, amit az öntöző cs hálózatok tervezéséhez írtam, és ami az egyetemi doktori és később a kandidátusi értekezésem témája is lett. Ez a sorozat először Magyarországon terjedt el, mert valaki felfigyelt rá és beszámolt róla az OVH elnökének, Dégen Imrének, aki érdeklődni kezdett, miként lehet cs hálózatokat méretezni számítógéppel. Ekkor bemutattuk egy hálózaton, s kiderült, hogy ezzel kb. 30%-át meg lehet takarítani a beruházási költségeknek. Addig ugyanis csak egy-két tervvázlatot lehetett részletesen megvizsgálni, a program segítségével viszont ki lehetett választani akár 20-30 változat közül a legmegfelelőbbet. Erre Dégen elrendelte, hogy minden tervezés alatt álló hálózatot ilyen módon kell áttervezni. A tervezők kezdetben féltékenyek voltak, nem hitték el, hogy számítógéppel ugyanúgy meg lehet tervezni a cs hálózatokat, mint ahogyan a gyakorlott tervezők megterveznék, csak sokkal gyorsabban, és így számítógéppel nagyszámú változat közül valóban kiválasztható a legjobb megoldás. A kurbilis számológépekkel lázasan ellenrizték a számítógép által kiadott cs méreteket. Akkor ilyen hangulat volt!

Biztattak többen, hogy a cs hálózat méretezési programokat adjam be újtásnak, amit meg is tettem. Ezzel kitört a vihar! Ugyanis az újítási szabályzat úgy szólt, hogy a megtakarítás 10-20%-át az újítónak ki kell fizetni. Nyomban megindultak a támadások, mondván, hogy egy egyetemi oktatónak az a kötelessége, hogy fejlessze a szakmai módszereket, és így adjam oda díjazás nélkül a programokat. Nem jár semmiféle újítási díj! Erre – ügyvéddel megtanácskozva – azt mondtam, hogy a programok itt vannak a fiókomban, de nem adom oda azokat! Támadóim elmentek a rektorhoz is, hogy utasítson az átadásra, de csak tanácstalanul széttárta a karjait. Végül Dégen Imre közbelépett. Egy összegben kaptam 1 millió forintot (ami akkoriban, 1970-ben nagyon nagy pénz volt), s ekkor több mint egy éves vajúdas után a programokat átadtam.

Más formában azonban visszajöttek az ezzel kapcsolatos csetepaték. Amikor kandidátusi dolgozatom védeése következett, akkor az egyik neves magyar tudós, aki nem tudott jelen lenni az eseményen, levélben kérde jelezte meg, hogy amit csinálok az tudomány-e. A vélemény felolvasása közben meghalt ereimben a vér. A jelenlétük a hallottakon komoly vitát folytattak, már szinte nem is a dolgozat, hanem a tudomány-nem tudomány kérdés körül folyt a szópárbaj. A vita végén azonban kisimult a kép, kandidátusi dolgozatom témája 7:0 arányban tudománynak minősült! Azóta már nagyon sok tudományos fokozat született hasonló számítógépes modellezési – ma informatikának (a mi szakterületünkön hidroinformatikának) – nevezett témakörben.

Akkoriban sok támogatót lehetett találni a számítógépi beszerzésekhez, erre is épült a kari fejlesztése-

ink zöme. Amikor az első személyi számítógépek kezdtek elterjedni, akkor a Commodore gépeket a NOVOTRADE cég hozta be az országba és pályázatot hirdetett számítógépes játékokra. Ugyan nem annyira játék volt, de beadtam, illetve egy barátommal és a feleségemmel közösen kidolgozva beadunk egy pályázatot a számítógépes többletanyag s döntéshozás témában. Így aztán a vadakat terelő juhász, meg a síelők és a tevékilövők (az akkori népszerű számítógépes játékok) stb. mellett ez a téma is nyert, úgyhogy mindhárman kaptunk egy-egy számítógép konfigurációt. Így már akkor volt egy Commodore-64-es gépem, amikor még nem árasztották el az egyetemi tanszékeket ezzel a típussal. Persze szép jogdíjat is fizettek a programért, és a számítógépeket is otthagyták nekünk. Meg kell jegyezni, hogy ezt a munkát nem mint egyetemet, hanem mint magánemberek csináltuk.

Ekkoriban járt a vége felé a nagy hazai öntözésfejlesztés. A mozgatható cs hálózatok üzemeltetésére azonban egyre kevesebb ember vállalkozott, hiszen a csöveket a földeken sarat dagasztva kellett cipelni, az emberek inkább jöttek a városokba, és az ipar felszívta őket. Nem volt más választás, nagyobb teljesítményű öntöző gépek behozatalával igyekeztek pótolni a hiányzó munkaerőt. Az egyik fő külföldi szállító az osztrák BAUER cég volt. Igen ám, de a 30-35 méteres hidránsnyomást igénylő, kézi áttelepítésű öntöző berendezésekre tervezett hálózatokban az új gépeket csak különleges elhelyezéssel lehetett megkötni, mert azok a hidránsoknál legalább 50 méteres nyomást igényeltek. Ezt a problémát csak számítógépekkel lehetett megoldani, amelyekkel szimulálni lehetett a tervezett üzemállapotokat, és így megállapítani, hogy a kívánt elhelyezéssel üzemeltethető-e az öntöző berendezések. Az osztrákok ekkor megkeresték tanszékünket a mi egyetemen, mert tudták, hogy ilyen szimulációs feladatokkal is foglalkozunk, s ők tőlünk kaptuk az első IBM-XT személyi számítógépet, amelyre kidolgoztuk azt a programot, amelyet azután 5-6 nagy esztendőntöző telepen bevezettek az öntöző gépek számítógéppel segített elhelyezéséhez a cs hálózatokban, a különböző lehetséges üzemállapotokban.

– Egy másik területet érintve ismeretes, hogy kezdeményez szerepet volt annak kimunkálásában, miként lehet a vízügyi tervezési folyamatokba bevonni a szélesebb nyilvánosságot...

Ezzel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy ez nekem kötelességem is volt, hiszen vízgazdálkodás tárgykört oktattam az egyetemen, s nagy hiba lett volna, ha nem figyelek oda, mi történik szerte a világban, mi történik a nagy projekkel. Itt van például az ausztriai zwentendorfi atomerőmű esete, amely 1974-ben kulcsrakészen állt, de az átadás előtt két héttel egy népszavazás úgy döntött, hogy nem szabad üzembe helyezni. Azóta is ott áll a Duna partján figyelmeztetősül, hogy a döntési folyamatokba be kell vonni a társadalmat.

S ha már a Duna partjánál tartunk, az 1980-as években a folyó egyik partján a Nagy Gátak Szövetsége tartotta kongresszusát, a másik oldalon pedig a nagy gátak ellenségeinek szövetsége gyűlt össze egy kongresszusra. Ezeket az eseményeket és jelenségeket figyelemmel kísértem, s amikor a kiskörei vízlépcs ellen indult a környezet-érzékeny médiaszereplőnek a támadása, aztán a B-s-Nagymarosi történet, amikor elkezdett mozgolódni az ifjúság, aminek a bölcsje egyébként a mi egyetememen volt, az ottani Zöld Kör tagjai nagyon jó szándékkal, de meg voltak győződve arról, hogy az egy káros dolog – elsősorban a nagymarosi vízlépcs – szóval, akkor kértem az OVH-tól olyan anyagokat, amik a lényegét megmagyarázzák a hallgatóknak. Hát, küldtek három színes prospektust!

Amikor az emlékezetes C-variáns megvalósításán is túl voltunk, akkor az osztrák kormányzat a bécsi

vízlépcs megvalósítása érdekében óriási energiát fektetett a társadalom meggyőzésébe. Akkoriban jártam a bécsi egyetememen, ahol hegyekben álltak a részletes tájékoztató anyagok, amelyekben bizonygatták a hallgatóknak és a társadalomnak a beruházás értelmét és hasznát. A bécsiek meg is szavazták a vízlépcs megépítését. Nálunk a társadalom véleményét nem vették figyelembe, és első sorban ez vezetett a dunai vízlépcs rendszerrel kapcsolatos eseményekhez, amelyek még ma sem oldódtak meg. Engem nagyon érdekelt a nagy projektek megvalósíthatósága, terv-változataik értékelése. A világban található példák azt igazolták, hogy – a diktatúrák kivételével – ezek a projektek csak a társadalom bevonásával és egyetértésével valósíthatók meg. A legkülönbözőbb fórumokon próbáltam szorgalmazni azt, hogy Magyarországon is történjen meg ilyen esetekben a társadalom bevonása.



Egy kongresszuson előadást tartottam a döntéshozási módszerekről, ezt a delfti műszaki egyetem egyik tanszékvezetője is meghallgatta. Jót vitatkoztunk egymással, mert én azt állítottam, hogy nem lehet ugyanazokat a módszereket alkalmazni Hollandiában, mint mondjuk Magyarországon – szóval ez a professzor az utolsó nap odajött hozzám, s meghívott a delfti egyetemre, hogy ott tartsak előadásokat a vízgazdálkodási döntéshozási módszerek témakörében. Különös tekintettel arra, hogy a Rajna és a Duna völgyében található országokban milyen döntéshozási azonosságok és különböző ségek hatnak és érvényesülnek. Számomra talán az egyik legfontosabb tapasztalat gyűjtést jelentette, amikor két évig a delfti műszaki egyetememen voltam vendégprofesszor, s itt megismerkedhettem a legkülönbözőbb vízgazdálkodási döntési módszerekkel és gyakorlattal. A Delftben végzett

munkám egyik következménye volt az, hogy a 2000-es években egy, a társadalom bevonásával foglalkozó nyugat-európai EU-s projektben, az új tagállamokból egyedülként a mi műszaki tanszékünk kapott meghívást a részvételre. Ezt a projektet első sorban azért említem, mert a fő eredménye az volt, hogy a „social learning” – azaz a „társadalmi tanulás” – az egyik legfontosabb koncepció a társadalom részvételéhez a döntési folyamatokban. Ez azt jelenti, hogy a szakembereknek és a laikusoknak együtt kell megtanulniuk, hogyan lehet olyan döntéseket hozni, amelyek a társadalom számára hasznosak. Később tagja voltam annak a szakértői csoportnak, amely az első vízgyűjtő-gazdálkodási terv társadalmi részvételének stratégiáját és munkaprogramját kidolgozta.

– *Mennyire hatékony napjainkban a társadalom bevonásának gyakorlata a különböző vízügyi programok tervezésénél?*

Ha kitekintünk a nemzetközi gyakorlatba, akkor nagyon változó képet kapunk. Épp az említett „social learning” programban dolgozó szakemberektől, szociológusoktól, véleményformáló- és közvéleménykutató szakértőktől tanultam azt, hogy egy ország, vagy térség kultúrájától, kulturális hagyományaitól mennyire függ, hogy az adott társadalmat mennyire és hogyan lehet bevonni a döntésekbe. Nem lehet ugyanazokat a módszereket gépiesen alkalmazni még Németországban, vagy Franciaországban, vagy Angliában, avagy éppen Magyarországon sem. Jelenleg egész Európában (az Unióban) nagyon határozott jogszabályok vannak arra, hogy az érintetteket be kell vonni a döntési folyamatokba, de azért itt érdekes túlzások is tapasztalhatók. Elolvastam a jegyzőkönyveket és jelentéseket, amelyeket a vízgyűjtő-gazdálkodási tervekkel kapcsolatos társadalmi találkozókról készítettek. Már az első VGT alkalmával is felemás érzések voltak, de a VGT2 esetén már nyilvánvalóvá vált számomra, hogy mindez így túlzás. Nem tudom, hogy van-e valaki, aki azt a rengeteg jegyzőkönyvet elolvassa, és a bennük foglalt lényeges észrevételeket valamilyen módon figyelembe tudja venni a tervek készítésének folyamatában. Túlságosan sok tényező kerül elő.

Ha szabad visszautalnom a számítógépes programjaimhoz, megemlítem, hogy az egyik legsikeresebb programom a többletanyag döntéssel készítésével foglalkozott. Igaz azonban, hogy a vízgazdálkodás területén csak Kínában alkalmazták egy nagy vízgazdálkodási feladat megoldásához. A többletanyag döntéssel készítés arról szól, hogy sokféle változat van egy projekt megvalósításához, és aztán a legkülönbözőbb szakértők és a társadalom részvételével sok tényező alapján kell kiválasztani a leginkább megfelelő megoldást. Kína azért jutott eszembe, mert egy Fokvárosban tartott előadásom után megkerestek, hogy Kíná-

ban tartsak tanfolyamot a többletanyag döntési módszerekről, különös tekintettel a számítógépes programok alkalmazására. Tudnivaló, hogy akkoriban folyt az új kínai nagy csatorna nyomvonalának kiválasztása. Egy Dunányi vízmennyiséget kívántak 1200 km távolságra, északra vezetni, hogy az ottani térségben a népszaporodással és klímaváltozással kapcsolatos vízgazdálkodási gondokat kezelni tudják. Amikor megérkeztem a pekingi repülőtérre, a meghívó öntözési miniszterhelyettes fogadott és újságolta, hogy 96 tényező már összegyűjtötték, hogy a csatorna nyomvonal változataiból számítógéppel ki lehessen választani a legmegfelelőbbet. A visszafordulás járt az eszemben, hiszen talán nem kell ecsetelnem, hogy ennyi nyers tényező alapján nem lehet semmit eldönteni.

Visszatérve a vízgyűjtő-gazdálkodási tervezéssel kapcsolatos kérdésre, a túl sok érdemi vélemény annyira megzavarja a tisztánlátást, esetenként kioltják egymást, hogy aztán a mindenkori döntéshozó azt csinálja, amit akar. Bármilyen döntés mellé oda lehet tenni az indokokat! Itt jön a „súlyozás” kérdése, mi-ként lehet a prioritások(k)at kiválasztani.

– *Jóllehet pályafutásod meghatározó módon a Budapesti Műszaki Egyetemhez kötődik, mégis érdekelné a véleményed egy másik oktatási intézményről, a szintén mérnököket képező Bajai Főiskoláról! Milyen kapcsolat fűzött Bajához?*

A Főiskola több oktatási intézményhez tartozott az elmúlt évtizedek alatt, több „házasságon” van már túl. Egy időben a Műszaki Egyetem Bajai Főiskolai Karaként is működött. Sokszor voltam meghívott előadó Baján, sokszor vettem részt a záróvizsga bizottság munkájában, az egyik bizottságnak még azóta is tagja voltam, amióta a BSc képzés folyik. Úgy érzem, hogy a nehéz körülmények ellenére színvonalas oktatási munka folyik Baján. Nagy lépést tettek előre, amikor bevezették a négyéves képzést. Szintén aggodom azért, hogy mindaz az érték megmaradjon, ami az eltelt évtizedek alatt Baját jellemezte.

Nekrológ

Dr. Benedek Pál megemlékezése a 2015. szeptember 29-én elhunyt Dr. Literáthy Péterrel

Dr. Literáthy Péter 1963-ban szerzett vegyészmérnöki diplomát a Budapesti M. egyetemen és ugyanitt 1974-ben egyetemi doktorátust. 1966-ban a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság (KÖVIZIG) munkatársaként lépett be a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet (VITUKI) Vízmin. ségi F osztályához. Utóbbiból lett 1976-ban a VITUKI keretén belül a Vízmin. ség-védelmi Intézet (VI). Már kezd tudományos munkatársként megszervezte a Vízmin. ség-védelmi Intézet analitikai laboratóriumát, elindítva a korszerűsítéssel történő analitikai munkát. Itt szükséges megjegyezni, hogy mind az Országos Vízügyi Hivatal (OVH) vezet je, néhai Dégen Imre, mind a VITUKI igazgatója dr. Stelczer Károly az 1960-as években nagy figyelmet szentelt és segítséget nyújtott a vízügy addig alig ismert ágazatának: vízmin. ség-szabályozásnak és a szennyvíz- és víztisztítási technológiának, melyek Európa nyugati felében is éppen akkor frissen fejlődő tudományágak voltak. A Nyugat-Európai szakemberek sokat merítettek az USA-beli tudósok már akkor fejlett eredményeiből, ahogyan a VITUKI munkatársai is hasznosítani tudták a kialakuló tudományos kapcsolatokat.

Bármilyen meglepő is mai szemmel, de már az 1960-as évek derekán sorban érkeztek a VITUKI-hoz amerikai professzorok szakmai látogatásra. Péter kiemelkedő vízkémiai tudása és a labor technikai színvonala ebben nélkülözhetetlen volt. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) érdeklődését is felkeltette, hogy nem csak nyugaton, hanem az úgynevezett „keleti blokkban” is van egy olyan intézmény, amely közreműködő lehet a WHO vízügyi, vízmin. ség-védelmi projektjeinél. A Magyar Kormány és a WHO együttműködése teremtette meg Péter gyors nemzetközi elismerésének alapját. Mindezek mellett azonban a nevéhez fűződő hazai eredményekről kell néhány szót szólni.

1966 és 1969 között fejlesztette ki az országos vízmin. ség-monitoring tevékenység analitikai alapjait. 1969 után dolgozta ki az országos interkalibrációs laboratóriumi programot, és lehetővé tette az úgynevezett „összehasonlító mikro-szennyezők” vizsgálatának beépítését a programba. A WHO mellett más ENSZ-szervezetek (UNDP) projektjeihez is bekapcsolódott a VITUKI laboratóriumi fejlesztéssel munkával, így az ötéves interlaboratóriumi összehasonlító (AQC) projekthez. Az 1970-es években egyre nagyobb gondot jelentő balatoni eutrofizációs (elalgásodási) probléma megoldásának kutatása kiemelkedő feladatot jelentett a VITUKI labor számára, Péter vezetésével.

Az USA által létrehozott Kuwaiti Kutató Intézet (KISR) meghívására 1983-tól sok-sok éven át végzett szakértői tevékenységet a Közel-Keleten. 1990-ben hazatért, a Vízmin. ség-védelmi Intézet vezetését vállalva, és emellett a Közép- és Kelet-európai Államok Duna-projektjében vett részt, annak egyik vezetőjeként. 1990-re sikerült egy olyan nagyszabású, a Duna teljes

hossz-szelvényére kiterjedő mintavételi programot megszerveznie Jacques Yves Cousteau kapitánnyal és a Monaco-i Tengerbiológiai Intézettel közösen, amely Costeau Survey néven vált közzismertté, és amely a folyam üledékének és bentikus élőlényekének szerves és szerves mikroszennyező tartalmát tárta fel a forrástól a deltáig.

Az 1990-es NATO-bombázások környezeti hatásainak felmérésére irányuló UN Balkan Task Force egyik meghatározó szakértője is lett, és vezette azt a Duna-felmérést a volt jugoszláviai folyamszakaszon, amely a későbbi Duna-expedíciók közvetlen elődjeként mind a háború, mind pedig az azt megelőző jelentős környezet-szennyező periódus valószínű környezeti hatásairól igen részletes alapadatokat szolgáltatott.

Az első öbölháború után, 1991. áprilistól szeptemberig volt az ENSZ Interagency Action projekt koordinátora, mely a háború okozta első környezeti károk felmérését célozta Kuwaitban. 2000 májusától a KISR igazgatójának közvetlen tanácsadója volt az öböl-menti környezetvédelmi témákban.

Az alapvetően újszerű terepi felméréseknek volt egyik legjelentősebb, máig is vitathatatlan koronája az Első Nemzetközi Duna-expedíció (Joint Danube Survey, JDS1), amely 2001-ben került lebonyolításra az International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR) koordinációjával, melyben valamennyi Duna-menti ország kulcs-szakértője közreműködött. Tudományos tevékenysége máig alapul szolgál a nemzetközi folyamtudomány megszervezéséhez és lebonyolításához. Literáthy Pétert méltán nevezhetjük a nemzetközi Duna-felmérések „Atyjának”, aki személyesen segítette mindkét későbbi expedíció indulását, és lelkesen nyomon követte a héthetes mintavételi program minden egyes lépését. Számos külföldi és hazai szakember közvetlenül Literáthy Péternek köszönheti széleskörű szakismereteit, amelyeket az ő személyes ötlete és elgondolása alapján született JDS programok megvalósítása során szerezhetett. Nekünk, mérnököknek, biológusoknak, kémikusoknak, akik a Dunát, annak élő világát, környezeti összefüggéseit próbáljuk pontosabban feltárni, tudományos érdemeit nem feledhetjük, és nevére méltóképpen emlékeznünk kell!

A JDS mellett feladata volt 2007 és 2014 között az ENSZ által 3 milliárd dollárral támogatott projekt, mely elsősorban az olajmezőkön lévő olajtavak, olajjal szennyezett talaj, stb. kármentesítésére irányult. Azóta is a tenger-szennyezettség, a halpusztulások okainak feltárásával, monitoringjával foglalkozott. Több, mint 130 tanulmánya, közleménye jelent meg folyóiratokban, konferencia publikációkban, oktatási jegyzetekben, és szakmai jelentésekben.

Pétert volt munkatársai, barátai, mindannyian, akik szerettük és büszkéek voltunk rá, fájó szívvel búcsúztatjuk.

Könyvismertetés

Dr. Vágás István és dr. Bezdán Mária *A Tisza és árvizei* című könyvét ismerteti Szlávik Lajos.

297×210 mm formátum, 190 oldal.

Kiadó: Kisbíró Kft. Szeged, 2015.

Ez a második, részben b vített, részben egyszer - sített kiadásban megjelen m , a Tisza árhullámainak jellemzésében egy újabb állomást jelent.

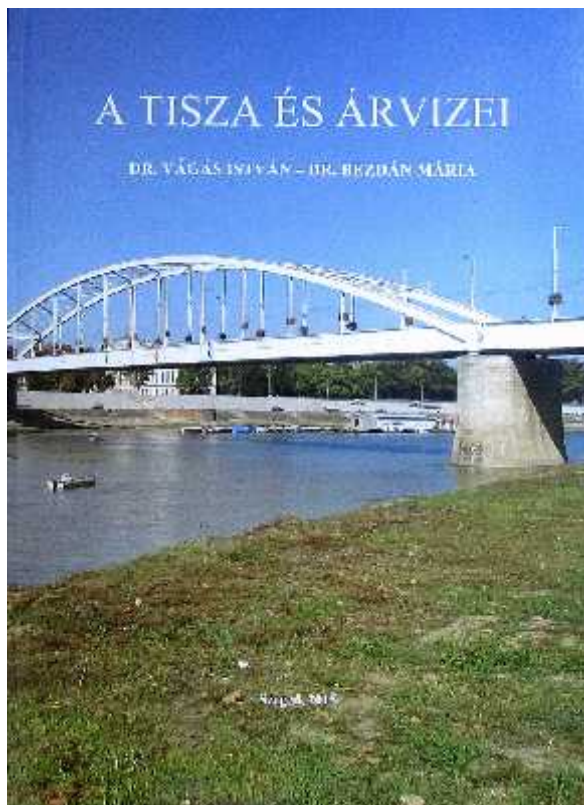
A kiadvány I. része: „*A Tisza szabályozása, és az azt követ fontosabb árhullámai*” Vágás István 1982-ben megjelent „*A Tisza és árvizei*” c. könyvének kiegészített anyaga. A II. rész: „*A szabályozott Tisza vízjárásának tulajdonságai a Tiszafüred alatti folyószakaszon*” Bezdán Mária munkája, amely a 2011-ben megvédett doktori értekezésén, az ahhoz tartozó kutatások anyagán alapul.

Vágás István munkásságának lényeges eredménye, hogy a Tisza árhullámainak hidrológiai sajátosságaiban megmagyarázható a csökken vízhozammal együttesen el forduló növekv vízállás, vagy a növekv vízhozammal együttesen el forduló csökken vízállás el lentmondásosnak látszó tényei.

A szerz rámutat arra, hogy ezeket a jelenségeket a természetes vízszin-duzzasztásoknak és – süllyesztéseknek a Tiszában mindenkor lényeges és mennyiségileg értékelhet hatásai okozzák. Hangsúlyozza, hogy *a vízhozamok és vízállások ugyanott bekövetkezhet ellentétes irányú változása az, ami a Tisza árhullámát azzá teszi, ami*, és ez a tulajdonság teszi a Tiszát Tiszává, s különbözteti meg viselkedését minden más folyótól.

A szerz kiemeli, hogy az utóbbi évtizedekben végzett nagyobb számú árvízi vízsebességmérések rámutattak arra és igazolták azt, hogy *a tiszai vízhozam-számításoknál figyelembe kell venni a vízfelszín esését is*. Bizonyítja, hogy a vízszín-esések ingadozásának hatása mértékadó a Tisza nagyvízi vízállásainak és egyidej vízhozamainak összefüggésében. Újabb példákkal, az elmúlt három évtizedben levonult árvizek elemzésével is igazolja korábbi megállapításait, hogy a Tisza közismert különleges hidrológiai sajátosságai közé tartozik az *árvízi hurokgörbe*, hagyományos és fordított alakjában. A fordított hurokgörbék a duzzasztás fölötti szelvényben, szelvényekben alakulnak ki. A tiszai árhullámok lényeges sajátossága a tet z vízállásoknak hosszú idő n, több napon át történ változatlansága ugyanabban a szelvényben. *Minden tiszai árhullám egyedi, mert változatos tényez k befolyásolják azok lefolyását*.

Bezdán Mária célul t zte ki a lefolyás és az árhullám el rehaladásának részletes feltárását, helyszínrajzi és idő beli viszonyainak elemzését, statisztikai jellemzését, az ezekhez vezet hidrológiai okok meghatározását a Tisza-Tiszafüred alatti szakaszain, tekintve,



hogy ezek a más folyókhoz képest rendkívülinek tekinthet tulajdonságok els sorban itt fordulnak el .

A szerz megállapítja, hogy az 1876-1975-ig terjed idő szakban *a Tisza árhullámainak több mint 70%-a* (a 600 cm felett tet z árhullámoknál több mint 90%-a) *visszaduzzasztott volt* valamely mellékfolyó, vagy a Duna által. Az árvízi levezetést az is rontja, hogy szinte valamennyi esetben két vagy több mellékág, illetve a befogadó együttes hatása, 1976 óta pedig a Törökbecsei duzzasztóm duzzasztása is érvényesül. A leggyakrabban duzzasztott mederszakaszok a nagyvízi tartományokban a Tiszaug és Algy közöttiek.

A szerz fontos megállapítása, hogy a Törökbecsei duzzasztóm nagyvíz idején is szabályozza a vízlevezetést, mert a folyón érke vízhozamokat a m tárggyal beépített szelvény vízlevezet képességének megfelelő en tudja csak továbbítani. A vízlevezetés ütemét a torkolatnál nem feltétlenül az eredeti hozzáfolyás üteme határozza meg, hanem a befogadó aktuális hidrológiai állapotától függ , duzzasztóm vel beépített meder vízlevezet képessége.

A szerz igazolja, hogy a duzzasztóm nemcsak a folyó vizét duzzasztja vissza, hanem a talajvizet is. Az a hatás különösen a Törökbecsei duzzasztóm esetében jelent s a domborzati viszonyoknak köszönhető en. Ezért a talajvíz kisvízi szintje egy bizonyos szint alá már nem süllyed le.

A gondos kiállítású, gazdagon illusztrált könyvben foglalt elemzések, megállapítások fontos adalékokat jelentenek a Tisza árvízi hidrológiai feltárásához; jól szolgálnak a tiszai árvízvédelmi rendszer továbbfejlesztésének megalapozását.

Szlávik Lajos

Könyvismertetés

Fejér László: *A Közép-Tisza-vidék vízgazdálkodásának utolsó évtizedei (1975-2010)* című könyvét ismerteti Molnár Éva.

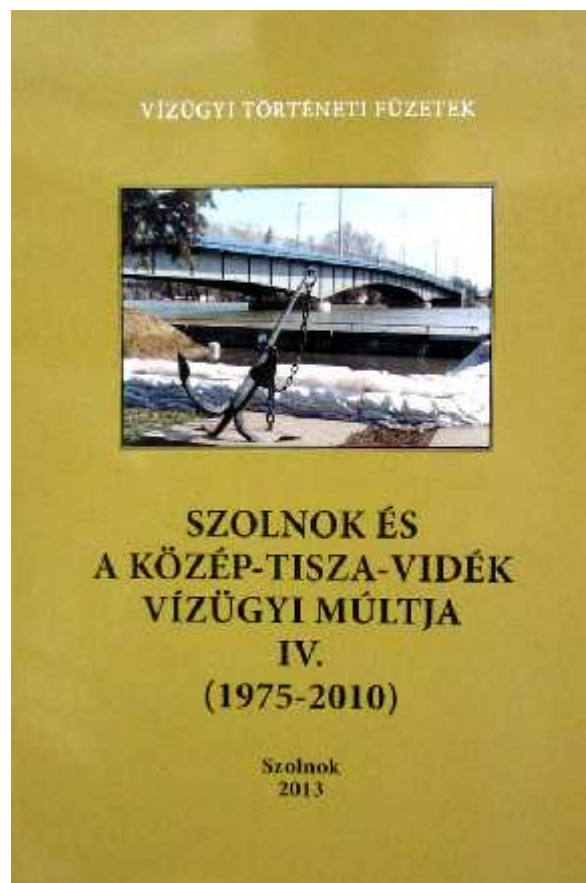
A könyv, mint a *Vízügyi Történeti Füzetek* 19. kötete (Szolnok és a Közép-Tisza-vidék vízügyi múltja IV.) jelent meg 2013-ban Szolnokon, a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság kiadásában, Lovas Attila igazgató elszavával, az Igazgatóság fennállásának 60. évfordulóján.

Az alföldi térség vízügyi történetének feltárása a *Vízügyi Történeti Füzetek* sorozatának 8-9-10. kötetében – Szolnok és a Közép-Tisza-vidék vízügyi múltja sorozatcímmel – már az 1970-es években megtörtént. (A korábbi kötetek szerzői és címei: Károlyi Zsigmond-Nemes Gerzson: *Az első ártéri gazdálkodás és a vízi munkálatok kezdetei /1895-1846/*, Károlyi Zsigmond-Nemes Gerzson: *A rendszeres szabályozások kora /1846-1944/*, Károlyi Zsigmond-Nemes Gerzson-Pálhidy Csaba: *A vízgazdálkodás eredményei /1945-1975/*.) A kutatások elvégzésében és a kötetek megjelentetésében nagy szerepet játszottak a térség sokoldalú vízgazdálkodásáért mindenkor felelős vízügyi igazgatók, akiknek köszönhetjük a vízügyi történeti szempontból a Közép-Tisza-vidék az egyik leginkább feltárt tája hazáinknak.

Az első kötetek megjelenése óta eltelt több mint három évtized – hazánk általános története szempontjából is – igen mozgalmas volt. Lezajlott a rendszerváltás, ami a tulajdoni és termelési viszonyokban alapvető változásokat hozott (nem is beszélve a politikai környezet alapvető fordulatáról), és a természeti erőnk is megpróbálták a Tisza mentén élő mindennapjait megkeseríteni, elég, ha az ezredforduló és a 2000-es évek első évtizedében levonult rendkívüli árvizekre, valamint, a nem egy esetben, az árvizekkel együtt jelentkező aszályokra gondolunk. Mindezek együtt meghatározó módon befolyásolták a közép-tiszai térség vízgazdálkodásának addig kialakult rendszerét.

Ez a körülmény a szerzőnek egyfelől könnyű, másrészt nehéz feladatot is jelenthetett. Könnyű volt, mert a vizsgált évtizedek szereplőinek többsége él, a források is könnyen hozzáférhetők, legalábbis könnyebben, mint a több száz évvel ezelőtti levéltári anyagok. Ugyanakkor a feladat nehézsége is ebben rejlik, mert a források bősége elárasztja a bennük kutakodót, ráadásul a szemtanúk mindegyike gyakorta másképp emlékezik ugyanarra az eseményre, folyamatra.

A témával foglalkozó IV. kötet bevezetése a hazai vízgazdálkodás utóbbi évtizedeinek átfogó történetét vázolja fel. Talán ez az alig több mint 20 oldalas áttekintés az első, amely mérlegre teszi a szocializmus korának és a rendszerváltás utáni két évtizednek vízügyi politikáját, és azt a hazai gazdaságtörténet szemszögéből is értékeli.



Ezt követően a kötet Magyarország legnagyobb komplex vízgazdálkodási létesítményének, a Kiskörei Vízlépcsőnek és a hozzá kapcsolt vízi mőtárgyaknak és csatornarendszereknek, nem mellesleg a Tisza-tó történetét tárja az olvasó elé. A könyvsorozat addigi utolsó, fent említett kötetében – amely 1975-tel zárult – épp hogy megépült a duzzasztómű, a vele kapcsolatos tapasztalatok – pro és kontra – nem voltak ismeretek a szakemberek számára sem. Tanulságos, hogy a Kiskörei tározót milyen támadások érték a működésének első évtizedeiben, és aztán az ellenhangok lassan elcsitultak, amikor kiderült, hogy a térség gazdasági fejlődésének szinte egyedüli kitörési pontját jelenti a Tisza-tó idegenforgalma, természetvédelmi funkciója, öntözésre alkalmas vize, és a töből megvalósuló vízátervezetések pedig a Körösök völgyét segítik ki vízszegény, száraz nyarakon.

A kötetből nem maradhattak ki a rendkívüli árvízi védekezések áttekintései sem, miként a 2000. évi cianid szennyezés elhárításának izgalmas részletei. Századunk eddigi legnagyobb árvédelmi fejlesztése, az új Vásárhelyi-terv megvalósítása radikális iránymódosulást indított el a hagyományos módszerekhez képest. Továbbra is feladat ugyan a magasághiányos töltések megépítése és a tiszai folyómeder árvízi levezetésre alkalmassá tétele, azaz a hullámtér kitisztítása, de az árhullámok veszélyes csúcsvízhozamának szabályozott kivezetése az erre kiépített tározók sorozatába, új vonása a hazai árvédelmi rendszernek. A napjainkban is zajló beruházások történetén keresztül a könyv bemutatja a Vásárhelyi

Terv Továbbfejlesztése program megszületését, eredményeit és máig húzódnó nehézségeit is.

Ha árvíz, akkor belvíz is, ha a vizek túlzott bősége okoz gondot, akkor annak hiánya is, így aztán külön fejezet foglalkozik a belvíz okozta problémákkal és az öntözésekkel. A gondok kezelése tekintetében jelentős különbség alakult ki a rendszerváltás után. Addig a nagyrészt a tsz-ek és állami gazdaságok által finanszírozott, valamint a vízügyi igazgatóságok szakmai felügyelete alatt álló vízgazdálkodási társulatok végezték el a belvízrendezés és belvízelvezetés feladatait. Az 1990 után kialakult új tulajdonviszonyok közepette egyre inkább el térbe került az állami kötelezettségvállalás mértékének kérdése, és az egyéni érdekeltek anyagi tehervállalása, a termő földek üzemi vízgazdálkodása (káros vízelvezetés, valamint az öntözés) tekintetében. Az állam egyre jobban kivonult bizonyos feladatok ellátásából, a gazdálkodók pedig gyengébb anyagi helyzetük miatt kevésbé tudták felvállalni az újabb költségeket, ami azután feszültséget okozott. A társulatok anyagi ellehetetlenülése, majd 1998 utáni megerősödése ideig-óráig feleltette az alapvető gondokat, míg 2010-ben újabb csapás érte a társulati mozgalmat, de ez már nem lett tárgya ennek a könyvnek.

A Közép-Tisza vidéki települések vízellátásának, csatornázásának 1970-es évekbeli színvonala össze sem hasonlítható a mai állapotokkal. Talán a legnagyobb fejlődés ezen a téren következett be az elmúlt évtizedek alatt. A program felgyorsulásához az európai uniós csatlakozás döntően hozzájárult, de kétségtelen

tény, hogy a szocializmus korának vége felé már a víziközművesítés volt a meghatározó a térség vízgazdálkodásában. A rendszerváltás után meghozott önkormányzati törvény a víz- és csatornázások üzemeltetéseinek hihetetlen számbeli növekedését okozta, az addigi üzemeltetési szervezetek száma csaknem meg tízszeresedett, ami a szolgáltatási hatékonyság jelentős gyengülését hozta magával.

Külön foglalkozik a kötet a fürdő- és hévízhasznosítás témakörével is. A térség rendkívül gazdag felszín alatti vízkincsekben. Ez egyfelől – a gyógyidegenforgalom révén – az egyes települések számára lehetőséget ad a gazdasági gyarapodásra, másfelől a nem összehangoltan zajló fejlesztések gondot is okozhatnak. Nem véletlen az egyik alfejezet címe: „Melegvízben/be/fürödve?”

A már említett korábbiakkal ellentétben – ez a IV. kötet igyekszik megismeretkedni a szakmai témáját, lapjain nem csak a történetek kapnak helyet, hanem a hozzájuk kapcsolható személyek, szakemberek is. Tovább növeli a kiadvány hasznosságát a függelékben szereplő 21, már elhunyt mérnök és szakember rövid életrajzi lexikonja, akiknek meghatározó szerep jutott a térség vízgazdálkodásában.

Az eligazodást segíti a névmutató, valamint a tárgyi időről szakrészletes kronológiája, amely a gazdagon illusztrált kötet végén található.

Budapest, 2016. április

Molnár Éva

a Magyar Mezőgazdasági Múzeum és Könyvtár könyvtárosa



vízisztítás



légtisztítás



uszodatechnika



LIT Duna Kft.

1148 Budapest, Nagy Lajos király útja 94/c · Telefon: 36-1/23-95-268

office@lituduna.hu

Wilo nagyteljesítményű, energiahatékony megoldások a vízügyi alkalmazásokban



Átemelőszivattyúk



Axiális propellerszivattyúk



Csőbúvár szivattyúk



Vertikális turbínaszivattyúk